

MARIANA DE JESUS PEDREIRA VALENTE

UMA LEITURA PEDAGÓGICA DA CONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE ENERGIA

CONTRIBUTO PARA UMA DIDÁCTICA CRÍTICA

Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Doutor em Ciências da Educação, Teoria Curricular e Ensino das Ciências, pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

ORIENTAÇÃO DOS PROFESSORES DOUTORES TERESA AMBRÓSIO E DUARTE COSTA PEREIRA

LISBOA/1999

Agradecimentos

Um trabalho de investigação conducente à dissertação de doutoramento representa sempre uma parte importante de uma vida. A sensibilidade a determinados aspectos está de tal forma exacerbada que uma frase inocente de alguém, ao nosso lado, nos parece, de repente, iluminar algumas das nossas preocupações. É uma fase da vida em que, mais do que nunca, sentimos como a nossa inteligência está distribuída pelas pessoas e pelo mundo que nos rodeia. É uma história povoada de encontros. Daremos aqui expressão a alguns deles, outros houve impossíveis de nomear.

Assim, aqui deixamos o nosso agradecimento muito especial:

- À Professora Doutora Teresa Ambrósio e ao Professor Doutor Duarte Costa Pereira pela sua liberdade de pensamento, pelos seus saberes, pela sua confiança.
- À Professora Doutora Isabelle Stengers pelo acarinamento das ideias iniciais, pela riqueza de pensamento, pelo entusiasmo e pelas sugestões criativas, pelas longas e estimulantes conversas, pelo que me ensinou sobre Whitehead.
- Ao Professor Doutor António Neto, grande influência no desenvolvimento da nossa sensibilidade didáctica, pela disponibilidade com que discutiu algumas das ideias trabalhadas, pelas preciosas sugestões.
- À Universidade de Évora e muito em especial ao Departamento de Física, que acreditaram no interesse desta investigação e que proporcionaram as condições para que ela fosse possível.
- À *Bibliothèque Royale de Bruxelles* e aos seus funcionários pelas facilidades de acesso a todos os documentos e pela disponibilidade na resolução de alguns problemas, respectivamente.
- À Sabine Fahr pelo seu longo apoio nos textos em língua alemã.
- À Edith Buissart, ao Gilbert Lautissier e ao Jan Debruyne pelo seu apoio na passagem de alguns textos para a língua francesa.
- À Graça, ao Bento e ao Pombinho pelo importante apoio “informático”.

- À Ana, companheira de gabinete, com quem partilhei as inseguranças diárias, pelo apoio na elaboração do “abstract”.
- Ao Fitas, pela ajuda na clarificação de alguns conceitos.
- À Isabel e ao João, pela localização de alguns textos de Fernando Pessoa e de Eça de Queiroz, respectivamente. Ao João pela sua disponibilidade para uma leitura atenta.
- À Dulce, companheira de muitos anos na orientação de estágios, com quem muito partilhei e muito aprendi.
- À Maria José, à Fernanda e à Cândida - orientadoras de estágio - e a todos os estagiários com quem trabalhei que muito contribuíram para a minha formação.
- Aos companheiros do seminário sobre Whitehead, orientado por Isabelle Stengers, e em especial à Marion, ao Gregoire e à Maria, pelas conversas interessantes e pela partilha de alguns textos.
- Aos técnicos de laboratório e em especial ao António e ao Sérgio, pelo seu apoio na montagem de alguns dispositivos experimentais.
- Ao Vítor, pelas conversas matinais no 35.
- A todos os colegas e amigos, pela sua confiança e pela sua amizade.
- A toda a família, pelos seus incentivos e pela sua compreensão.
- À minha professora de Filosofia, Fernanda Gonçalves, que me ajudou a cultivar o gosto pela reflexão filosófica.
- Ao Pedro pelo seu amor ao conhecimento, pelo seu apoio e estímulo, pela sua Energia.
- Aos meus pais, pela sua sabedoria, pela Vida.

Ao Pedro
e
aos meus pais

Resumo

A noção de energia tem, ao longo da sua história, ocupado um lugar charneira entre movimentos antagonistas, nomeadamente entre representacionistas e expressionistas (na história da pintura), entre energetistas e mecanicistas (na Física); tal como esta investigação mostra.

No que diz respeito ao campo educativo ela encontra-se, também, no cerne de uma contradição. Se considerarmos que o pensamento se torna interessante e estimulante, quando começamos a estabelecer ligações, a energia, sendo exemplar a esse respeito, tem um valor educativo importante – através dela, no século XIX, uniram-se diferentes mundos (físico, químico e biológico) culminando mais tarde com a união do mundo em geral; uniu-se o novo e o velho; uniu-se o natural e o artificial. Por tudo isto, encontramos no conceito de energia uma grande variedade de elementos que nos permitem, com sucesso, cultivar o gosto pelas ideias e colocar em cena o poder e os limites do conhecimento científico. Ora, como resultado de alguma investigação, no âmbito da Didáctica, têm emergido propostas de ensino-aprendizagem que apontam para um decréscimo da importância curricular deste conceito, dadas as dificuldades cognitivas associadas à sua aprendizagem. Foi através desta tensão inicial que se desenvolveu a nossa problemática. Resolvemos esta contradição introduzindo a ideia de ritmo educativo (Whitehead). Encarar o gesto educativo com base numa ideia de ritmo parece-nos uma ideia unificadora importante e estimulante. Trata-se do ritmo criado pela passagem por três fases de qualquer gesto educativo: “o romance”, “a precisão e “a generalização” (sendo esta última uma forma de romance enriquecida pela precisão). O “romance” e a “generalização” vivem da produção de sentidos, das emoções estéticas derivadas das ligações que estabelecem. Estes dois aspectos do ritmo – geralmente ausentes no ensino/aprendizagem das ciências – encontramos-los, hoje, nas novas teorias sobre educação científica, quando se apela à introdução da narrativa no ensino das ciências (Bruner). Esta investigação pretende mostrar como a construção histórica é um bom caminho para a produção de narrativas pertinentes para a compreensão dos problemas em questão, e estimulantes para o desenvolvimento da ligação ao conhecimento. Produzir alguns elementos que possam contribuir para um ensino da Física verdadeiramente educativo, foi um objectivo importante deste trabalho de investigação. Assim, a exploração de textos históricos e de textos de historiadores da ciência esteve na base da prossecução do nosso objectivo.

A investigação histórica que desenvolvemos teve, também, o objectivo de nos ajudar a avaliar alguns pontos de partida dos investigadores no âmbito da Didáctica da Física, através do enquadramento dessas ideias que, por vezes, adquirem uma forma dogmática.

EXPRESSÕES-CHAVE

Energia; construção histórica; crítica; ritmo educativo – “romance”, “precisão”, “generalização”; “flying classroom”; conservação; degradação; limites; valor; conhecimento científico.

Abstract

The concept of energy has been a central issue and has been among different epistemological movements, such as the ones known as the representationism and the expressionism (history of painting) and between the energetism and the mechanism (history of physics), as this research exhibits.

Also in the education field the concept of energy is the central point of a contradiction.

If one believes that the process of thinking becomes interesting and stimulating when one starts making connections, the energy concept, being a good example of this process has a very significant educational value - in the nineteenth century different worlds joined together (Physics, Chemistry and Biology) ended later in a more general union; the old and the new joined together; the natural and the artificial merged together. Therefore the concept of energy enables the development of the taste for the ideas, explore the power and the limits of the scientific knowledge. On the other hand, due to the great cognitive difficulties in learning the concept of energy, identified by the research made in the field of Science Education, that issue has lost its importance as central subject for teaching purposes.

This tension has motivated us to restart the investigation of this issue, but under another conceptual perspective. The idea of educational rhythm (Whitehead) is the core of an educational philosophy, which we consider to give rise to relevant and innovative approaches.

The new theories on Science Education (Bruner), have been showing the need of introducing the narrative in Science Education. Our research aims to point out the importance of the history of science in the construction of narratives, which are of utmost importance on the understanding of the problems that are in the origin of the development of the scientific knowledge. On the other hand this approach is also a stimulus for the improvement of the *liaison* to knowledge, therefore contributing to a “true” educative Physics teaching/learning. To achieve this goal, our way was to use of historical texts and of articles from science historians.

The research developed by us aimed as well the evaluation of some starting points of the field of research in Physics Education.

Keywords : energy; historical construction; “critical”; educational rhythm – “romance”, “precision”, “generalization”; “flying classroom” ; conservation; degradation; limits; value; scientific knowledge.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	VII
Abstract.....	IX
Índice de Figuras.....	XV
Preâmbulo.....	XVII

PARTE PRIMEIRA

A Hermenêutica de uma Investigação

Cap.1 Contornos para o desenvolvimento de uma Problemática

1.1 Introdução.....	5
1.2 A investigação no âmbito do Ensino da Física: por uma multiplicidade de problemáticas e de métodos	14
1.3 A investigação no âmbito do Ensino das Ciências e a “crise” na educação científica escolar.....	31
1.4 Implicações do pensamento de Whitehead para o balanço da investigação realizada no âmbito do ensino/aprendizagem dos conceitos científicos – contributo para um protesto contra algumas “ideias inertes”.....	48
1.5 A importância da História e da Filosofia das Ciências nas problemáticas educativas.....	67

Cap.2 Linhas de desenvolvimento metodológico

2.1 Introdução	87
2.2 Activação de um círculo criativo metodológico.....	92
2.3 Aprender a construir uma obra com ideias.....	99
2.4 Uma leitura de <i>Getting to know about Energy in school and society</i> (1992) de Joan Solomon.....	105
2.4.1 Introdução.....	105
2.4.2 Primeira bifurcação – da ênfase no “conhecimento geral” para a ênfase na “cultura”.....	108

2.4.3	Segunda bifurcação - da dualidade da noção de aprendizagem à unidade do “gesto educativo”	117
2.4.4	Terceira bifurcação - das dificuldades de aprendizagem da conservação da energia ao valor formativo da conservação da energia.....	132
2.4.5	Quarta bifurcação – sobre o valor da construção histórica da noção de energia.....	140
2.4.6	Algumas considerações finais.....	143

PARTE SEGUNDA

Energia: uma palavra, um actor, uma estética, uma medida, uma inteligibilidade

Introdução.....	147
------------------------	------------

Cap.3 Uma Palavra: dos artistas românticos aos físicos profissionais

3.1 Introdução.....	161
3.2 A ideia de energia nos finais do século dezoito.....	165
3.3 O conceito científico de energia.....	174
3.4 Algumas considerações finais.....	184

Cap. 4 A energia em Mayer: um actor, uma estética

4.1 Introdução.....	187
4.2 Mayer – um estilo, um modo de vida, uma época.....	190
4.3 O texto de 1841.....	210
4.4 O texto de 1842.....	219
4.5 O texto de 1845.....	233
4.6 O texto de 1851.....	269

Cap. 5 A energia em Joule: uma medida, uma estética

5.1 A vida em Manchester.....	297
5.2 Uma personalidade científica de chameira na Grã-Bretanha.....	306

5.3 Problemas com interesse para Joule.....	310
5.4 A indestrutibilidade da força.....	328
5.5 Algumas considerações finais.....	347
 Cap.6 A energia em Hemholtz: uma inteligibilidade, uma estética	
6.1 Introdução.....	351
6.2 Alguns dados biográficos.....	352
6.3 Sobre o texto <i>Über die Erhaltung der Kraft</i>	359
6.4 Sobre as <i>Popular Scientific Lectures</i>	368
6.5 Algumas considerações finais.....	382
 Cap.7 Lavoisier-Feynman	
7.1 Introdução.....	385
7.2 A respiração dos animais interpretada por Seguin e Lavoisier – uma "premonição" do conceito de energia?.....	386
7.3 O conceito de energia em Feynman.....	394
7.4 algumas considerações finais.....	399
 Considerações Finais.....	401

PARTE TERCEIRA

De uma noção de energia a uma Natureza em "existência"

Introdução.....	407
 Cap. 8 Os limites da conservação da energia	
8.1 De Mayer a Ostwald e a Planck.....	411
8.2 Atingir a "realidade" invisível deixando a natureza existir plenamente – o percurso "doloroso" de Planck.....	433
8.2.1 Introdução ao pensamento de Planck.....	433
8.2.2 Sobre o texto de Planck de 1887.....	434
8.2.3 Sobre mais alguns textos de Planck reunidos no livro <i>Iniciações à Física</i>	445

Cap. 9 Duas visões sobre o conhecimento do mundo: a controvérsia entre Planck e Mach

9.1 Introdução.....	477
9.2 Planck e a visão unitária do mundo físico	479
9.3 Planck confronta-se com Mach.....	487
9.4 Mach e os “princípios orientadores” para uma teoria do conhecimento.....	490
9.5 Algumas considerações finais.....	497

Cap.10 A história como percurso de compreensão conceptual: Mach e o conceito de energia

10.1 Introdução.....	501
10.2 A importância do teorema da exclusão do movimento perpétuo.....	502
10.3 “O princípio da energia em Física”	514
10.4 Implicações pedagógicas.....	525

Considerações Finais.....533

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....541

Bibliografia.....559

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fotografia da instalação <i>A Model Scenario of the Flying Classroom</i>	7
Figura 1.2 Pormenor da instalação reproduzida na Figura 1.1.....	9
Figura 2.1 Círculo criativo metodológico.....	96
Figura 2.2 Categorização das noções dos alunos de energia.....	114
Figura 2.3 Vestígios de uma discussão sobre energia (1).....	116
Figura 2.4 Vestígios de uma discussão sobre energia (2).....	116
Figura 2.5 Berbequim eléctrico.....	129
Figura 2.6 Imagem retirada do livro <i>Getting to know about Energy</i>	135
Figura I.1 <i>Chuva, Vapor e Velocidade</i>	152
Figura I.2 <i>O Caminho de Ferro Berlim-Potsdam</i>	155
Figura 3.1 <i>Tintagel Castle</i>	172
Figura 4.1 <i>Heilbronn from the Neckar</i>	190
Figura 4.2 Gravura.....	191
Figura 4.3 Imagem de uma pintura de George Garrard.....	195
Figura 4.4 <i>Chaleur dégagée par frottement</i>	248
Figura 4.5 Electroforo.....	249
Figura 4.6 Transformação de trabalho em “calor”.....	254
Figura 4.7 Transformação de “calor” em trabalho.....	254
Figura 4.8 Motor eléctrico.....	255
Figura 4.9 Máquina electromagnética.....	255
Figura 4.10 Conversor termoeléctrico.....	256
Figura 4.11 Violação da conservação da energia?.....	256
Figura 4.12 Radiómetro de Crookes.....	256
Figura 5.1 <i>An accident</i>	297
Figura 5.2 Diferenças conceptuais entre Joule e J. Thomson.....	332
Figura 6.1 <i>Le concert de flûte de Frédéric le Grand à Sanssouci</i>	352
Figura 6.2 Pianista de Jacques Droz.....	376
Figura 7.1 Experiências sobre a respiração.....	386
Figura c.f.1 Transferência irreversível de calor.....	536
Figura c.f.2 Expansão irreversível de um gás.....	536

Figura c.f.3 Espalhamento de uma gota de tinta em água.....	536
Figura c.f.4 Difusão de nuvens.....	536
Figura c.f.5 Água nas suas diferentes fases.....	536
Figura c.f.6 Magnetes elementares.....	537
Figura c.f.7 Preparação típica de um “laser”.....	537
Figura c.f.8 Movimento de um fluido.....	537
Figura c.f.9 Células de Bénard.....	538

Preâmbulo

Dada a natureza particular do nosso problema de investigação, considerámos importante fazer acompanhar o nosso questionamento de algumas ideias teóricas que lhe dão pertinência. Por isso, o capítulo 1, onde é desenvolvida a problemática, adquiriu uma extensão de que não pudemos fazer a economia. Tanto mais, que o próprio questionamento cresce com as razões com que o vamos ligando

O tipo de problemática que desenvolvemos, talvez pouco comum no domínio de investigação a que pertencemos, inscreve-se numa necessidade, muito sentida, de diversificar os problemas e as abordagens para que, desse modo, se evidencie a complexidade das questões educativas. A investigação nesta área deverá, quanto a nós, incentivar a multiplicidade de problemas e de métodos.

O tipo de problemática que desenvolvemos traduz a forma como queremos existir como investigadores, alimentando a convicção “qu’il est nécessaire que nos idées soient adéquates à nous-mêmes, qu’elles nous conviennent. On peut parler là d’une attitude aussi bien esthétique qu’existentielle à l’égard de nos idées: le critère principal est celui de la convenance, de l’accord, de l’harmonie” (J. Schlanger, 1994, em *Gestes de Philosophes*, p.93). Cada investigador com a sua sensibilidade, com os seus interesses, poderá dar um contributo para evidenciar diferentes lados do problema em questão.

O trabalho aqui apresentado está dividido em três partes. A primeira interpreta e fundamenta o significado, a pertinência e o valor do questionamento elaborado e dos métodos seguidos.

A segunda parte é o reinado da conservação da energia. O poder expressivo da palavra utilizada pelos românticos é herdado pelos cientistas, que ao longo do século XIX, promovem a união de tantos mundos através do conceito de energia. Dos protagonistas no desenvolvimento da ideia de conservação seguimos Mayer, Joule e Helmholtz. A abordagem ao pensamento destes três cientistas foi bastante diferenciada. Com efeito, demos um lugar especial a Mayer seguindo o seu pensamento de uma forma mais aprofundada. Acompanhámos, portanto, as suas transformações de pensamento, os seus entusiasmos. Pretendemos, com isso, dispor de elementos que nos permitam promover a ligação com o pensamento de um autor, que nos permitam apreciar o longo caminho percorrido até que a ideia ganhe consistência. Escolhemos Mayer, por ser exemplar a esse respeito e por ter um raciocínio muito interessante pedagogicamente, como mostraremos. Lembremos que Planck defendeu que a abordagem de Mayer deveria ser seguida por aqueles que pretendessem

iniciar-se nesta temática. Por tudo isto, o capítulo que explora o pensamento de Mayer tem uma dimensão substancialmente diferente dos outros. Relativamente aos outros autores o tratamento traduzirá um acompanhamento passo a passo, será mais sintético mas não menos importante. Quisemos destacar as diferenças de contexto e de personalidade destes três cientistas, daí as incursões aos ambientes naturais, sociais e culturais, em que estes autores estiveram mergulhados.

Também na terceira parte privilegiámos (em extensão) um dos autores, neste caso Planck. As dificuldades que este cientista vai viver no contacto com a interpretação estatística do segundo princípio da termodinâmica e a sua conversão nesse sentido darão origem a uma visão do mundo físico, que, de forma alguma, estará disposto a colocar em causa. Daí os fortes confrontos com Ostwald e Mach que defendem funções diferentes para o conhecimento científico, como veremos.

Enquanto que na segunda parte são os mecanismos artificiais que vão estar na ribalta, pela proliferação de possibilidades de conversões de energia e pelas necessidades de eficiência dos dispositivos industriais, na terceira parte regressamos à natureza mas agora com instrumentos conceptuais que, de acordo com Planck, nos aproximam da “realidade”. Com o pensamento de Planck preparamo-nos para o alargamento à visibilidade de fenómenos, em que a ideia de degradação da energia não nos fornece os elementos para a sua inteligibilidade.

Queremos chamar a atenção dos leitores deste texto, no que diz respeito às transcrições que povoam o trabalho. Embora também estejam incluídas citações, as transcrições são mais frequentes. A leitura destas é indispensável para a compreensão do texto, já que quisemos valorizar as formas de dizer dos próprios autores. Estas transcrições, por vezes longas - quando há uma história ou quando o sentido do texto assim o exige -, são realizadas na língua da obra de onde foi retirada a transcrição.

Embora o texto tenha ficado demasiado longo, cada capítulo encerra em si próprio um certo sentido, de fácil apreensão. Deste modo o leitor poderá escolher os capítulos que mais o motivem desde que visite inicialmente o capítulo 1 para a familiarização com algumas ideias que estão na origem do trabalho realizado. Chamamos, nomeadamente a atenção para a noção de “flying classroom” e para as noções de “romance”, “precisão” e de “generalização”.

Parte Primeira

A hermenêutica de uma investigação

Capítulo 1

Contornos para o desenvolvimento de uma problemática

Ved, pues, la serie de actores que en la mente humana han ido sucesivamente representando ese papel de comienzos de la ciencia: el caos, el saber del no saber, la sorpresa, la duda. A esta egregia lista yo voy a permitirme añadir un nombre: el problema. El saber empieza en la sensibilidad para el problema"

Ortega y Gasset, 1996, p.54.

1.1 Introdução

Utilizando as palavras de R. Mayer, diremos que nos vimos envolvidos nesta problemática porque "[we] *vividly felt the need of it*". Esta necessidade resulta de uma insatisfação relativamente aos resultados produzidos pela investigação no âmbito do ensino-aprendizagem dos conceitos físicos e de uma insatisfação relativamente às ideias inerentes às duas linhas de investigação mais correntes nesta área de investigação: a linha que coloca a tónica nas dificuldades psicológicas de aprendizagem dos conceitos científicos e a linha, mais sociológica, que pretende centrar-se nas relações ciência-tecnologia-sociedade¹.

Como veremos, o nosso questionamento resulta do cruzamento de diferentes aspectos que se constituíram como marcos importantes ao longo do nosso percurso intelectual e experiencial. Nesta parte inicial tentaremos colocar em evidência os aspectos mais importantes que a balizaram, justificando adequadamente a sua pertinência e explicitando os possíveis efeitos de uma investigação desta natureza.

As questões fabricam-se "avec des éléments venus de partout, de n'importe où" (Deleuze e Parnet, 1996, p.7). Os encontros fazem-se depois de uma longa preparação (id.). E é a partir de encontros, que constituíram para nós verdadeiros acontecimentos, que teceremos a nossa problemática.

Nomes como Isabelle Stengers, Whitehead, Deleuze, Bergson, William James, Vygotsky, Langevin contribuíram fortemente para o estabelecimento de algumas ideias gerais que

¹ A tendência actual será integrar aspectos das duas linhas. No entanto, como veremos, a segunda linha privilegia uma linguagem que nos parece conter a negatividade de uma linguagem que se constrói apenas na oposição e não na criação. E o caso, por exemplo, de chamar constantemente o quotidiano naquilo que ele tem de mais pobre, como mais tarde mostraremos.

guiaram a nossa investigação. Estes nomes varrem o nosso século. Contrastar muito do que se tem escrito sobre educação científica, desde finais do século passado (com alguns textos de William James), com os escritos actuais dos investigadores nesta área é para nós vital, tanto mais que, apesar de uma clara expansão, nos últimos anos, da investigação em educação científica, nos parece vislumbrar uma certa crise nesta área. Longe vão os tempos de grande entusiasmo pela "escola" das concepções alternativas, no que diz respeito ao ensino/aprendizagem dos conceitos científicos. Será com base nalguns destes contrastes que teceremos a nossa problemática.

A metáfora da unidade entre "hand, brain and heart" (expressão utilizada por Sandra Harding e citada por Isabelle Stengers, 1994, p.40) foi um guia importante tanto nas escolhas dos caminhos tomados neste trabalho de investigação como no equacionar da educação científica, e em particular do ensino da Física.

O "coração" esteve sempre muito presente ao longo de todo o nosso trabalho, o que nos proporcionou a vivência de momentos de grande intensidade. É o caso, por exemplo, dos momentos em que emergiam ligações (factuais, intelectuais ou estéticas) entre os diferentes pensadores que influenciaram o nosso estudo.

Ilustremos com um caso, que desenvolveremos mais adiante. Depois de termos trabalhado alguns textos de William James e de Ernst Mach, com quem partilhamos ideias importantes, constatámos que James assistiu a um curso de Mach. James descreverá esse momento como algo muito forte, que vai permanecer na sua memória, provocado pelo sentido artístico de Mach. Esta pequena história veio introduzir uma vivacidade emotiva no nosso pensamento, permitindo uma verbalização muito mais interessante, do nosso ponto de vista.

Há duas ideias que constituirão o pano de fundo da nossa investigação.

Referem-se elas a duas dimensões fundamentais na concepção de um ensino educativo, que encontrarão toda a pertinência, como pretendemos mostrar, quando aplicadas ao caso particular do ensino da Física.

Vamos introduzi-las através de duas histórias. A primeira resulta de um verdadeiro encontro.

Bienal de Veneza, 1995. Entramos numa sala e deparamos com a instalação de Martin Honert "A Model Scenario of the Flying Classroom", que é uma ilustração da novela de Erich Kästner "The Flying Classroom" (Das fliegende Klassenzimmer), escrita em 1933.



Figura 1.1 Fotografia da instalação "A Model Scenario of the Flying Classroom" de Martin Honert, Bienal de Veneza, 1995.

Foi para nós um momento alto da nossa visita. O encontro com esta "representação" artística da sala de aula veio iluminar de uma forma especial algumas das nossas preocupações. Com efeito, a metáfora do voo para a sala de aula pareceu-nos uma chave importante e muito pertinente para o questionamento do que deve ser uma aula. Como escreve Boris Groys (1995), a propósito da novela e da instalação, "flying is isolated from life, remote, detached from the flow of existence" (p.22). É esta evasão da vida real (entendida como a vida prática, quotidiana) que deixa marcas na memória. Estas marcas relevam da arte e não da vida real. A aula deveria, então, ser um momento de arte e não de "vida real"², com os seus efeitos sobre a vida real. "Real life revolves around art" é, de acordo com Boris Groys, a ideia central da novela. E este autor continua: "memory does not lead to life but to art which is transformed into life by the childlike gaze" (p.21). E sobre a memória especifica:

"The memory remains stable, untained by life, only if the picture that preserves it is artificial and separated from life. Artificial, literary images isolated from the flow of everyday life, transmitted as historical knowledge in school or in novels or in plays are

²Estamos, evidentemente, a utilizar os termos significativos de Boris Groys. A expressão "vida real" refere-se a um quotidiano comum. Esta noção não é diferente daquilo a que alguns educacionalistas chamam de "mundo da vida" (ver Liynse), embora esta última seja mais enganadora pois quando a encontramos ocorre-nos todo um

indeed the ones that make the strongest impression on children and survive in memory with the greatest stability" (p.21).

Esta dimensão merece ser contrastada com muito do que se escreve sobre educação científica e, nomeadamente, com os escritos que se inscrevem numa abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade, da qual esperaríamos mais. Tentaremos mostrar mais adiante como o "mundo da vida" dos alunos é tratado de uma forma utilitarista e pouco interessante. Mas, façamos já algum contraste com o pensamento corrente na perspectiva CTS. Matthews (1994) escreve:

"Science-Technology-Society (STS) programs have been widely adopted as one way of making science teaching contextual and avoiding the abstractness of orthodox science courses. They continue the tradition of the science of everyday life that was common in the US between the world wars, and the science of common things that was prevalent in the UK between the wars" (p.46, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

E continua, mais adiante:

"STS education had its origin in the failures of the discipline-based curricular reforms of the 1960s. Many saw the flight from science as a demand for more useful and relevant science courses, courses which would capture the attention of students and maintain their interest. In this regard STS courses are repeating one of the chief tenets of the progressivism of the 1930s - personal and social relevance" (p.47, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Assim, esta educação científica parece realizar-se na anulação do "voo" inerente à ciência, apelando ao predomínio do útil, do comum, da vida de todos os dias. Perguntamos: o que mantém o interesse é o que liga os alunos ao que é comum? Quão longe estamos de Judith Schlanger para quem o conhecimento é fazer existir "espectáculos do mundo" e para quem "la dimension spectaculaire de l'œuvre théorique est loin d'être annulée par son intention transitive et instrumentale" (p.67).

Não nos parece que este tipo de estratégias referidas por Matthews deixe quaisquer marcas na memória.

Se o apelo à «personal and social relevance» dos programas CTS parece sugerir a introdução de outros elementos, por contraste com um ensino apenas centrado no conhecimento

espaço de acontecimentos que estão excluídos no pensamento de quem está a utilizar a expressão, como veremos mais adiante.

científico, "seco e frio", é, no entanto, um bom exemplo da anti-"flying classroom" (aula voadora)³. Com efeito, a concentração numa "science of everydaylife" ou "science of common things" não nos parece responder a mais do que a um utilitarismo imediatista.

Há, contudo, outros textos que dão uma outra visão dos movimentos CTS, como é o caso do texto de G. Fourez (1994) no seu livro *Alphabétisation Scientifique et Technique*. Com efeito, identificamo-nos com o eixo de valores humanistas que Fourez tão bem descreve⁴ (ver nota de rodapé). No entanto, a materialização curricular de influência CTS tem sido orientada, em Portugal, por princípios mais próximos dos enunciados por Matthews (ver novos programas de Física do unificado).

A ideia de "flying classroom" (aula voadora) inclui muitos dos ingredientes que Bergson utiliza na caracterização da educação. A educação no pensamento de Bergson, utilizando as palavras de Lombard (1997), "procède-t-elle constamment de la création, de l'élan, de la liberté, de la nature, de l'effort, de la durée, de la perception, de l'imagination, des valeurs" (p.37). E mais adiante, Lombard escreve que a educação no pensamento bergsoniano é necessariamente:

"«création d'imprevisible nouveauté», d'abord parce que la formation de la personne relève d'une sorte de création artistique, ensuite parce que la vie morale à laquelle prépare, dans son ultime ambition, l'éducation, est elle-même «un courant indéfiniment créateur»" (p.39).



Figura 1.2 Pormenor da instalação reproduzida na figura 1.1

³Mereceria introduzir aqui alguma discussão relativamente aos novos programas de Física dos 8º e 9ºanos de escolaridade

⁴ "Le troisième axe de valeurs est plus humaniste. Il vise à ce que chaque être humain puisse prendre part à la culture scientifico-technique qui est la nôtre, y communiquer avec d'autres à propos du monde où nous vivons, et y maintenir une certaine autonomie, de même qu'un plaisir à y vivre. Ce que signifie «être cultivé» dans ce domaine est difficile à décrire. On peut cependant s'accorder à dire qu'émerge tout d'abord une dimension historique: comprendre comment les sciences et les technologies sont nées dans une histoire humaine et en font partie. Une dimension esthétique: savoir jouir à propos d'une théorie ou d'une machine bien faite Qui s'adapte à une situation. Une dimension corporelle: percevoir son corps en relation avec des outils comme lieu intelligent de notre présence humaine. Une dimension de communication: les sciences et les technologies sont essentiellement des façons de construire une vision du monde partagée et communicable. Tout cela implique aussi un lien avec le débat éthique, dans la mesure où les sciences nous offrent une représentation des possibilités de notre agir. Cet ensemble fait partie de notre culture puisque les sciences et les technologies sont une partie de notre représentation de notre histoire" (p.18).

Na instalação referida contactamos com a criação, o espanto, a curiosidade, a necessidade de registo, o calor da camaradagem (figura 1.2).

O contacto com as ideias não é "seco e frio". Ou, como Vygotsky gostava de dizer: "seria absurdo creer en la permanencia de cualquier idea que se encontrase supuestamente en estado meramente intelectual en toda su sequedad y frialdad" (1982, p.25).

Como afirma Isabelle Stengers (Sciences et Pouvoirs, 1997), a maneira como as práticas científicas são apresentadas torna incompreensível o que apaixona os cientistas:

"Les questions non tranchées, l'invention de nouvelles pistes, de nouveaux risques, de nouveaux arguments. Elle fait des sciences des disciplines froides, éloignées de toute passion, alors que quiconque connaît un chercheur sait très bien que rien n'est moins «neutre» que son attitude envers les questions qu'il ou elle travaille" (p.12).

A segunda ideia será introduzida através de uma pequena história contada por Holton e que serve de metáfora a alguns dos problemas que se colocam à educação científica. Mas, ainda antes da história vejamos o que Holton (1973) diz sobre o ensino da Física:

"They [refere-se aos estudantes que não pretendem ser físicos], however, who do not intend to become us want to see also what place physics has in the total reality, in the context of all intelectual endeavors; and unless we help them, nobody will, and they will know that they came to our shop erroneously" (p.470, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

E é para colocar em evidência esta ideia que ele lança a história:

"We should remember a story C. N. Yang told not long ago to express the disenchantment of some physicists with the mathematician who is not interested in the realities of our concerns. «There is a story circulating among us» Professor Yang said, «describing the feelings of a physicist when he consults a mathematician. A man carried a large bundle of dirty clothes and searched for a laundry without success for a long time. He was greatly relieved when he finally found a shop displaying a sign 'Laundry done here' in the window. He went in and dumped the bundle on the counter. The man behind the counter said:

«What's this?»

«I want to have these laundered.»

«We don't do laundry here.»

«But you have a sign in the window advertising that you do laundry.»

«Oh! That! We only make signs.»»

We, too, are all too often only making signs, if we teach our nonphysics students as if they are going to be scientists" (p.483, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta história poderá suscitar diferentes interpretações, nomeadamente uma noção de significação colada a um utilitarismo imediato. Não é essa a noção de significação que Holton pretende pôr em cena, mas apenas chamar a atenção para um ensino das ciências desprovido de qualquer significado e completamente desmobilizador, tal como o é o contacto entre aquele que, nesta história, procura uma lavandaria e o fabricante de sinais. O contacto entre estas duas personagens poderia ter sido um contacto criativo, mas foi apenas desmobilizador.

Em Holton, a significação no ensino da Física será engendrada na contextualização deste tipo de conhecimento. Mas, esta contextualização tem muito pouco a ver com a contextualização anteriormente citada no âmbito dos programas CTS. Trata-se, aqui, de colocar a Física "in the context of all intellectual endeavors". Para isso, como o próprio percurso intelectual de Holton mostra, há que recorrer à História da Ciência e à História da Cultura.

É preciso compreender a verdadeira pertinência de um problema para que ele tenha algum valor educativo. Ou, como diria Ortega y Gasset, é preciso criar uma certa sensibilidade para o problema. É preciso, como salienta Isabelle Stengers, tornar o problema interessante.

A importância da significação na educação científica parece ser, hoje, uma ideia consensual. Mas qual é a noção de significação subjacente a muitos dos escritos nesta área?

A maioria deles aponta para uma significação entendida como reconhecimento, como associação directa à experiência que nos proporciona o "fluxo normal da existência". Ora, a significação com que a ciência nos confronta resulta de uma actividade criadora e, nesse sentido, exige o "flying". O "encontro" tem uma certa dimensão de descoberta, tem um pouco daquilo a que Whitehead chamou de "racionalização imaginativa" (1995, p.48). o processo educativo deverá proporcionar um contacto imaginativo com as "coisas"⁵ e, nesse sentido, é da ordem da "rencontre", do "flying" e não da ordem da "reconnaissance":

"Trouver, rencontrer, voler, au lieu de régler, reconnaître et juger. Car reconnaître, c'est le contraire de la rencontre" (Deleuze e Parnet, 1996, p.15).

⁵Entenda-se esta expressão no sentido alargado que incluirá experiência quer ao nível sensorial, intelectual, ou emotivo.

É aqui que as duas histórias se encontram. Proporcionar "rencontres" implica sair do fluxo normal da existência, ou seja, no que nos diz respeito e pelo que já referimos, implica sair de uma visão educativa excessivamente redutora e utilitarista.

Quando Holton afirma: "we, too, are all too often only making signs, if we teach our nonphysics students as if they are going to be scientists", pretende chamar a atenção para um ensino da física sem consequências, tendo implícita uma certa distinção entre um ensino mobilizador de "rencontres" e um ensino centrado na "reconnaissance". Este último é um aspecto muito valioso na preparação daquele que irá trabalhar dentro de um paradigma - o futuro cientista. Clarificando este último conceito:

"In order to become part of a community, you have to become able to see and deal with phenomena in a specific way. This norm is not only a kind of vision of the world. It is a practical, creative norm: you have to become able to recognize problems and solve them, but you also become interested in specific problems which would interest nobody else, in new possibilities of inventing facts and proofs which would be meaningless outside the community" (I. Stengers, 1997, p.30, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Neste contexto, o pólo da "reconnaissance" contém uma dimensão criativa que estava ausente da nossa referência inicial. Podemos, contudo, defender que a cultura do especialista deveria ser garantida por uma formação básica orientada pela ideia de "rencontre".

Com estas duas histórias, pretendemos introduzir dois aspectos que serão determinantes para o desenvolvimento da nossa investigação: a dimensão artística do ensino, que no estudo desenvolvido será, essencialmente, concretizado pelo apelo à narração, à imaginação; e a dimensão da significação, aspecto de importância reconhecida por todos mas cuja concretização parece induzir práticas pouco inventivas e excessivamente redutoras. O termo significação merecerá, ao longo de todo o nosso trabalho, uma atenção especial, de forma a fazermos emergir elementos constitutivos de uma noção de significação adequada ao contexto da nossa investigação.

Estes dois pontos serão desenvolvidos mais claramente após a introdução de alguns aspectos do pensamento de Whitehead, no que diz respeito à educação, e após a discussão do valor educativo da história e filosofia da ciência, pois será aí que introduziremos os instrumentos adequados a esta discussão.

Estas duas histórias preparam-nos para a "tensão problemática" (expressão utilizada por Ortega y Gasset, e quanto a nós muito sugestiva) que pretendemos produzir.

A problemática que construímos e desenvolvemos pretende ser um pequeno contributo para a multiplicação dos "gestos" possíveis de um investigador no âmbito da educação científica.

1.2 A Investigação no Âmbito do Ensino da Física: por uma multiplicidade de problemáticas e de métodos

The objective of skilled agency and collaboration in the study of the human condition is to achieve not unanimity, but more consciousness. and more consciousness always implies more diversity".

Bruner em "*The Culture of Education*", p.97.

A determinação metodológica

Ao abordar este ponto ocorre-nos um acontecimento de que fomos protagonistas e cujo relato poderá constituir uma introdução a alguns aspectos que pretendemos trazer à discussão.

Estávamos a preparar, na Universidade, um conjunto de conferências e de actividades com interesse para professores e alunos das escolas secundárias. Nesse sentido, fomos a algumas escolas fazer a divulgação junto dos conselhos directivos respectivos. Numa dessas escolas, a pessoa que nos recebeu reagiu rapidamente dizendo: "ah, já sei, vêm trazer os questionários". Esta história entrou em ressonância com algumas das nossas preocupações. Com efeito, a expectativa tão reduzida dos que estão no terreno relativamente à investigação não nos poderá deixar indiferentes.

O confronto de ideias entre os que estão ligados à prática educativa e os pensadores sobre o acto educativo sempre existiu. Veja-se, por exemplo, no que diz respeito à educação científica, as fortes discussões no princípio do século entre Langevin e alguns professores do ensino secundário na conferência organizada pelo "Musée Pédagogique" (1904): "L'esprit de l'enseignement scientifique". O que nos impressiona no estado a que as coisas chegaram é a percepção de um investigador desprovido de ideias. Deriva isto da própria natureza da investigação nesta área?

Esta história tem o mérito de nos confrontar com o gesto único visível de recolha de dados empíricos do investigador. Na verdade, muitas das visitas dos investigadores às escolas traduzem-se, quase exclusivamente, pela realização de diferentes tipos de inquérito. Mas não se trata apenas de uma imagem referente a uma actividade exterior à escola. Com efeito, nos

últimos anos tem aumentado o número de professores do ensino secundário envolvidos em trabalhos de investigação, o que é, evidentemente, um aspecto muito positivo. Sem querermos, com isto, desqualificar as problemáticas de investigação que se centram neste tipo de metodologias, pretendemos, no entanto, reagir ao peso excessivo que esse tipo de problemáticas e de metodologias tem tomado no que diz respeito à investigação no âmbito da educação científica⁶. Onde está o contributo da investigação para a "flying classroom"? Será ele possível e desejável?

Não se vê, em princípio, objecção, como afirma Bruner:

"to creating better measuring instruments in order to find out how well our students are doing in science, in mathematics, in literature, in reading" (p.116).

Mas só isto é muito pouco se queremos mudar algo na educação, como Bruner também sugere. Com efeito, as questões da medida, que traduzirão uma aparente neutralidade, parecem constituir as preocupações fundamentais de muita da investigação em educação.

Cabe aqui transcrever um excerto (um pouco longo mas, quanto a nós oportuno) de um texto de Isabelle Stengers (Sciences et Pouvoirs, 1997) que nos tocou muito particularmente, pela pertinência que tem no questionamento das práticas de investigação da comunidade a que pertencemos e pela sensibilidade que todo o texto revela. O título do capítulo a que pertence o excerto que aqui transcrevemos é "cerveaux mutilés". Todo este capítulo (aliás, todo o livro) constitui, do nosso ponto de vista, um instrumento formativo valioso.

"Où predomine l'idée que toute question qui semble impliquer des savoirs, des mesures à prendre, des états de chose à gérer relève de la Science, on ne s'étonnera pas de ce que le

⁶Quando lemos os textos de William James sobre educação percebemos como este peso dos inquéritos já vem de trás transportado pelos estudos de investigação psicológica. Diz ele:

"Qu'on ne prêche donc pas comme un devoir impérieux la nécessité de s'occuper de recherche psychologique et qu'on n'aille pas à l'imposer comme règle à ceux pour lesquels cette étude est un poids insupportable, et qui ne se sentent en rien la vocation de psychologue. Je ne puis assez me déclarer d'accord avec mon collègue, le professeur Münsterberg, lorsqu'il affirme que l'attitude de l'enseignant envers l'enfant doit être vivante et moralement engagée. Elle est fermement opposée à l'attitude abstraite et analytiquement neutre du psychologue" (1996, p.48, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Isto suscita-nos a questão de saber se a atitude do investigador no âmbito da educação científica deverá ser abstracta e analiticamente neutra ou, pelo contrário, "vivante et moralement engagée"?

Comparando o que se faz hoje no âmbito da investigação em educação científica com o que William James escrevia no final do século passado a percebemo-nos de quanto ela herdou da atitude de investigação do psicólogo. William James tem já a percepção do perigo de uma certa mistificação desta nova ciência que é a psicologia pela comunidade dos educadores e alerta para isso:

"Loin de moi l'idée de dénier à la psychologie les titres qui ont fait naître de grandes espérances chez les éducateurs. Elle devrait, je le reconnais, leur être d'un grand secours. Et, pourtant, je crains fort qu'à la fin de

paysage de nos savoirs soit saturé d'entreprises qui revendiquent pour elles-mêmes L'autorité que la science expérimentale est censée devoir à son «objectivité».

Ils existent des sciences qui se présentent comme objectives mais procèdent à l'accumulation de données, au classement bureaucratique de nombres qui peuvent porter sur tout et n'importe quoi. Tout est mesurable, si l'on ne se pose pas la question, qui est primordiale au laboratoire, de savoir ce que signifie la mesure, de quoi elle témoigne, ce qu'elle permet de montrer. Ces sciences sont reconnaissables au culte qu'elles vouent à la «méthodologie», à la «méthode scientifique». C'est en effet la seule chose à laquelle elles puissent prétendre puisqu'elles ne créent pas leurs propres questions: savoir constituer un bon échantillon, évaluer la fiabilité d'un résultat statistique, s'assurer que les données récoltées ne sont pas systématiquement biaisées, etc. Ce genre de science bénéficie du développement des instruments statistiques, comme aussi, aujourd'hui, de la puissance de calcul des ordinateurs, mais n'a rien, strictement rien, à voir avec la pratique créatrice des sciences expérimentales. Jamais le résultat de telles mesures ne fera vraiment battre le cœur de l'enquêteur, se demandant s'il a inventé une «bonne» question, s'il a créé un point de vue que ses collègues ne pourront ignorer. Les résultats s'accumulent et fournissent le cas échéant de «précieuses indications», faute de mieux, mais ils peuvent tout aussi bien dissimuler les problèmes et le «faute de mieux» devient alors en lui-même redoutable.

Un nombre peut en cacher un autre ou cacher une question pour laquelle il n'y a pas de nombre. Ainsi les statistiques portant sur l'échec scolaire, même si elles prennent en compte le statut économique et social des parents, *peuvent*, le cas échéant, *dissimuler* le fait que ce qu'est l'école n'a pas de signification indépendamment de la question de ce qu'elle permet d'espérer, et notamment des perspectives auxquelles ouvre un diplôme. Mais ce qu'elles sont vouées à ignorer, à renvoyer à la «subjectivité», hors science, ce sont des questions du genre: qu'est-ce qui fait qu'une classe «marche», qu'un enseignant réussit à transmettre à ses élèves en quoi la matière qui leur est enseignée est en effet digne d'être transmise de génération en génération? De telles questions ne trouvent pas leurs réponses dans les chiffres, mais elles ne sont pas pour autant «subjectives»: elles portent, en partie en tout cas, sur l'ensemble des dispositifs de formation, de «recyclage», de contrôle, qui contribuent soit à asservir l'enseignant face à la triple autorité du savoir, des «pédagogues» et de l'administration, soit à lui donner les moyens de créer ce que son rôle exige de lui. Aujourd'hui, les «bons profs» existent plutôt malgré ce qui est censé les soutenir que grâce à ceux qui prétendent les aider" (pp. 57, 58, 59, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

mes petites causeries plusieurs d'entre vous ne soient un peu surpris en constatant les conclusions. En d'autres termes, je crains que vous n'attendiez de notre science une aide qu'elle est incapable de fournir." (p.44).

Este texto dá pertinência a uma certa ousadia no desenvolvimento dos problemas de investigação nesta área. Referimo-nos à pertinência de problemáticas que não envolvam dimensão empírica.

A crítica metodológica não vem apenas da Filosofia, ela começa a emergir do interior da própria investigação das ciências sociais e humanas. Bronckart e outros (1996), por exemplo, escrevem:

"the epistemological positions of many researchers [no âmbito das ciências sociais e humanas] are, first of all, an outcome of subscribing to the idea according to which all scientific methodology is necessarily explanatory and experimental" (p.82).

E mais adiante escrevem:

"we will advocate that the broad methodology of humanities and social sciences is relating to **understanding**. On the background of their pre-knowledge of human activity, in which they participate, researchers are always challenged with interpretations of actions or texts, through which they strive to read the terms organising human representations, and through which they subsequently strive to achieve a greater understanding of themselves" (p.82).

Ao desviarem o quantitativo para o qualitativo estes autores pretendem romper com algo que, muitas vezes, continua a ser transportado para metodologias de natureza qualitativa. Com efeito, eles valorizam uma interpretação criativa, que os implica a eles próprios, muito longe da interpretação aparentemente neutra das metodologias experimentais em ciências humanas. O que é dito aqui em geral aplica-se, em nossa opinião, aos investigadores no âmbito da educação e, em particular, à investigação no quadro do Ensino da Física. Como escreve Solomon (1992), no momento em que as noções de quem aprende passaram a constituir objecto de investigação houve, necessariamente, que romper com os métodos de investigação da psicologia experimental:

"It was necessary that the earlier mode of social science research, which had laid so much emphasis on reproduceable laboratory tests, should either pass away or be deliberately flouted. Listening to children talking, especially in the teaching laboratory, would need to be validated by quite different procedures from those of earlier experimental psychology" (p.21).

Se é certo que, como Solomon também acentua, emergiram necessariamente outros "gestos" de investigação com o desenvolvimento da "escola" das concepções alternativas, estes parecem hoje, passados estes anos de proliferação da investigação sobre a aprendizagem de conceitos científicos, excessivamente cristalizados tornando-se, por vezes, uma fonte de "ideias inertes". Por outro lado, embora as metodologias qualitativas ocupem algum espaço, estas não parecem introduzir gestos visíveis substancialmente diferentes. Na verdade, elas continuam a exibir as marcas de "metáforas cientistas" (expressão de Guattari, 1989). Estas marcas eram já denunciadas por Bergson, em 1913:

"Là où le calcul n'est pas encore applicable, lorsqu'elle doit se borner à décrire l'objet ou à l'analyser, elle s'arrange pour n'envisager que le côté capable de devenir plus tard accessible à la mesure.

Or, il est de l'essence des choses de l'esprit de ne pas se prêter à la mesure" (p.71, na Conferência "«Fantomes de Vivants» et «Recherche Psychique»", incluída em "L'Énergie Spirituelle", 1996).

O elogio da sensibilidade e da imaginação: por um paradigma de inspiração ético/estética

De acordo com Bruner: "we need a surer sense of what to teach, to whom and how to go about teaching it in such a way that it will make those taught more effective, less alienated, and better human beings" (p.118). Comparemos com as palavras de William James⁷ sobre o que deve ser uma prática educativa:

"Il faut arriver à placer votre élève dans un état où l'objet de votre enseignement l'intéresse à tel point que tout autre objet d'attention soit banni de son esprit. Révélez-lui alors le savoir d'une manière si marquante qu'il s'en souviendra jusqu'à son dernier souffle; enfin remplissez son esprit d'une curiosité si dévorante qu'il recherchera de lui-même les connaissances se rattachant à votre sujet. Avec des principes aussi lumineux, le maître dans sa classe et le général sur le champ de bataille ne devraient remporter que des victoires. Mais les tournures d'esprit de nos adversaires sont étonnamment diverses et il faut compter avec elles. L'esprit de l'enfant vous échappe avec autant de promptitude que celui

⁷Designado por Whitehead por filósofo de inspiração psicológica e considerado por este um "génie". Em "La Science et le Monde Moderne" Whitehead contrasta o pensamento de Descartes com o pensamento de William James para mostrar como "l'histoire de la philosophie suit, curieusement, un cours parallèle à celui de la

du chef de la partie adverse se dérobe au calcul du subtil général. Il est aussi difficile à l'éducateur qu'au chef d'armée de savoir ce que veut, ce que pense, ce que sait et ne sait pas son vis-à-vis. L'imagination et la sensibilité sont ici les seules aides, et non pas la psycho-pédagogie et la théorie stratégique" (p.47, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Sugestivas a esse respeito são também as palavras de Michel Serres (1991), num texto muito bonito sobre a aprendizagem:

"Non, le jeu de la pédagogie ne se joue point à deux, voyageur et destination, mais à trois. La tierce place intervient, là, en tant que seuil du passage. Or cette porte, ni l'élève ni l'initiateur n'en savent le plus souvent la place ni l'usage.

Un jour, à quelque moment, chacun passe par le milieu de ce fleuve blanc, état étrange du changement de phase, qu'on peut nommer sensibilité, mot qui signifie la possibilité ou la capacité en tous sens" (p.29, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

O estado de sensibilidade constitui, neste texto de Michel Serres, uma noção chave para uma abordagem à aprendizagem que contrasta com uma aprendizagem de inspiração psico-pedagógica. Não há nenhum mecanismo que nos permita o acesso seguro e determinado à "porta" da sensibilidade. A aprendizagem não pode evitar a viagem, "apprendre lance l'errance", afirma Serres (p.28). "Partir. Sortir. Se laisser un jour séduire. Devenir plusieurs, braver l'extérieur, bifurquer ailleurs" (id., p.29).

Aplicar estas ideias a contextos de aprendizagens escolares implicará, do nosso ponto de vista, a materialização daquilo que temos vindo a designar por "flying classroom".

Que contributo poderá a investigação dar a aspectos tão fundamentais como estes?

De acordo com o filósofo Guattari (1989):

"Il n'y a pas à s'étonner de ce que les sciences humaines et les sciences sociales se soient condamnées d'elles-mêmes à manquer les dimensions intrinsèquement évolutives, créatrices et auto-positionnantes des processus de subjectivation. Quoi qu'il en soit, il m'apparaît urgent de se défaire de toutes références et métaphores scientistes pour forger de nouveaux paradigmes d'inspiration éthico-esthétiques" (p.25).

science. Dans les deux cas, le XVIIe siècle installe le décor pour les deux siècles suivants. Mais un nouvel acte commence avec le XXe siècle" (p.169).

O que pretendemos reforçar com esta citação do livro "Les trois écologies" - estas afirmações surgem na crítica aos domínios «psy» - é a necessidade destes "novos paradigmas de inspiração ético-estéticos"; sem entrar na discussão da noção de paradigma, é esta passagem de uma inspiração cientista para uma inspiração ético/estética, algo manifesto nas seguintes palavras de Guattari:

"En insistant sur les paradigmes esthétiques, je voudrais marquer que, spécialement dans le registre des pratiques «psy», tout devrait toujours être réinventé, repris à zero, faute de quoi les processus se figent dans une répétition mortifière" (p.29).

Ora, do nosso ponto de vista, estas ideias são preciosas para a análise da investigação que se produz no âmbito do ensino das ciências, nomeadamente, no âmbito do ensino da Física. Neste domínio poderíamos dizer que alguns métodos "se figent dans une répétition mortifière", algo sublinhado por Solomon (1992):

"Educational research is in danger of doing no more than repeat earlier studies. Indeed, it seems that in almost every topic area there have been several trawls of children's notions, delivering almost identical results" (p.37).

No domínio que estamos a tratar - a investigação no âmbito da educação científica - parece, por vezes, não haver espaço para a "invenção construtiva" (expressão de Isabelle Stengers), o que deriva de uma inadequada interpretação do que deve ser a objectividade científica nas ciências humanas. Isabelle Stengers (1994) aborda esta questão de uma forma muito interessante, escrevendo a propósito:

"Scientific objectivity as I understand it is related to a challenge: to invent a link with what we study which makes it able to make a difference among us. This is why I may very peacefully state that scientific objectivity is still to be invented in the domain where the scientist cannot purify and identify and also cannot define himself or herself as «only a story teller»" (p.27).

Em domínios como o nosso, onde este "link" de que fala Stengers ainda não foi inventado, há que apostar na diversidade e no enriquecimento das problemáticas; caso contrário, corre-se o risco de tornar inerte esta área de investigação.

Todas estas leituras nos ajudaram a exercer um certo olhar crítico sobre muito do que se produz no âmbito da investigação em educação científica. Uma certa resistência intuitiva,

relativamente a alguns produtos desta área de investigação, tornou-se numa resistência explícita ao predomínio dos gestos únicos numa área cuja complexidade não é compatível com a unicidade de pontos de partida e de formas de fazer.

A determinação psicológica

Como veremos mais adiante, a investigação no âmbito da educação científica tem estado intimamente ligada a alguns desenvolvimentos da psicologia, nomeadamente ao pensamento de Piaget.

Se o pensamento de Piaget é uma referência a ter em conta não deve, no entanto, constituir-se como algo definitivo e determinante, como bem o salienta Bruner (1996):

"There are stages of development that constrain how fast and how far a child can leap ahead into abstraction. Piaget's views are always to be taken seriously in this regard, but they too must be regarded with caution. The child's mind does not move to higher levels of abstraction like the tide coming in. Development depends also, as Margaret Donaldson has so beautifully demonstrated, upon the child's practical grasp of the context or situation in which he or she has to reason" (p.120).

Bruner faz apelo a uma noção de inteligência distribuída que nos parece muito pertinente para as problemáticas educativas. Diz ele:

"It was perhaps John Seeley-Brown and his colleagues who put the matter most succinctly when they proposed to speak of intelligence as not simply «in the head» but as «distributed» in the person's world - including the toolkit of reckoning devices and heuristics and accessible friends that the person could call upon" (p.132).

Ou seja, o enriquecimento do mundo do sujeito corresponde a um desenvolvimento da sua inteligência.

As nossas representações sobre a natureza não provêm apenas do nosso contacto físico com os fenómenos. Toda a cultura à nossa volta, nomeadamente a cultura inscrita corporalmente naqueles com quem contactamos, é fundamental para o exercício da nossa mente. Não basta apelar ao "hands on" para que algo aconteça.

Nos últimos anos começam a aparecer referências a Vygotsky, verificando-se uma certa abertura no discurso mas sem que, com isso, surjam alterações de fundo nas ideias já instaladas. A "descoberta" de Vygotsky tem, no entanto, influenciado o aparecimento de problemáticas interessantes⁸.

Quando, hoje, lemos escritos sobre educação de alguns filósofos do princípio do século, como Bergson e Whitehead, não podemos deixar de lamentar a influência quase exclusiva da psicologia sobre os rumos do ensino e da investigação. Não nos opomos à influência psicológica na formulação das problemáticas educativas mas sim à sua influência exclusiva. Como afirma Isabelle Stengers, há um excesso de psicologização no tratamento das questões relacionadas com a aprendizagem científica.

Aquilo que a Psicologia nos dá relativamente ao pensamento é, de uma forma geral (pelas suas condicionantes metodológicas), da ordem do estático, do isolado. Ora o que nos interessa é um pensamento em movimento, em relação. Como diria Deleuze, o que nos interessa é "le milieu et pas le début ni la fin, l'herbe qui est au milieu et qui pousse par le milieu" (p.31, Dialogues). Ou seja, o que é interessante no pensamento é a ligação que se pode estabelecer entre ideias de domínios diferentes:

"Il ne faut pas chercher si une idée est juste ou vraie. Il faudrait chercher une tout autre idée, ailleurs, dans un autre domaine, telle qu'entre les deux quelque chose se passe, qui n'est ni dans l'une ni dans l'autre. Or cette autre idée, on ne la trouve pas tout seul généralement, il faut un hasard, ou que quelqu'un vous la donne. Il ne faut pas être savant, savoir ou connaître tel domaine, mais apprendre ceci ou cela dans des domaines très différents. C'est mieux que le «cut-up»" (Deleuze, 1996, p.16).

E esta ideia, como afirma Claire Parnet ao dialogar com Deleuze, opõe-se à imagem-árvore dominante do pensamento:

"Vous vous êtes mis à opposer le rhizome aux arbres. Et les arbres, ce n'est pas du tout une métaphore, c'est une image de la pensée, c'est un fonctionnement, c'est tout un appareil qu'on plante dans la pensée pour la faire aller droit et lui faire produire les fameuses idées justes" (p.33).

A educação científica pratica o «cut-up» fazendo, muitas vezes, das ideias científicas ideias mortas, subtraindo-as a qualquer possibilidade de encontro:

⁸ Ver, por exemplo "Contributos para uma nova didáctica da resolução de problemas: um estudo de orientação metacognitiva em aulas de Física do ensino secundário" de A. J. Neto, 1995.

"Remarquez que la pensée réelle, concrète, vivante, est chose dont les psychologues nous ont fort peu parlé jusqu'ici, parce qu'elle offre malaisément prise à l'observation intérieure. Ce qu'on étudie d'ordinaire sous ce nom est moins la pensée même qu'une imitation artificielle obtenue en composant ensemble des images et des idées. Mais avec des images, et même avec des idées, vous ne reconstituerez pas de la pensée, au lieu de continuer son chemin, fait une pause ou revient sur elle-même" (Bergson na Conferência L'âme et le Corps, publicada no livro "L'énergie Spirituelle", 1996, p.44 e 45).

Como refere Lombard, na lição intitulada "Quelle est la valeur de la psychologie actuelle?":

"[Bergson, 1881] avait exprimé vivement son refus de la psychologie d'alors et de la psychologie en général: il s'agissait moins, en réalité, de refuser la psychologie elle-même que «cette mécanique de l'esprit qu'on présentait alors sous le nom de psychologie et qui en était la négation»" (Lombard, 1997, p.26).

Embora a Psicologia tenha, desde então, passado por grandes desenvolvimentos – nomeadamente, teve o mérito de trazer para a ribalta aquele que aprende (Piaget), do que derivaram consequências importantes para o processo educativo – o pedagogo continua à procura de uma "certa mecânica do espírito", que lhe dê a segurança necessária no tratamento das questões da aprendizagem. Leituras de autores como Francisco Varela, que põem em cena "machinismes vivants autopoïétiques", teriam o mérito de equacionar de outra forma esta aspiração.

Evidentemente que uma teoria da educação não poderá fazer a economia de uma teoria do espírito. A este respeito, e como resultado do desenvolvimento das Ciências Cognitivas, Bruner (1996) avança com duas perspectivas: a computacional e a culturalista. Embora traduzam abordagens do espírito substancialmente diferentes, elas partilham alguns aspectos metodológicos:

"[Both] seek to bring together insights from psychology, anthropology, linguistic and the human sciences generally" (Bruner, p.4).

Esta espécie de mestiçagem metodológica é patente no texto de Bruner. Quando parece estar a escrever como um psicólogo já ele deslizou para problemas de natureza epistemológica, construindo discursos alimentados pelo recurso à Filosofia, à História, à Literatura, nisso se afirmando um bom herdeiro de Vygotsky.

Estas duas perspectivas, referidas por Bruner, centram-se, respectivamente, no processamento de informação e no "meaning making".

O contributo do nosso trabalho situar-se-à numa perspectiva de "meaning making", aspecto que retomaremos mais tarde.

Uma teoria do espírito que privilegie os processos "inside-out" tem, como afirma Bruner (p.9), aplicação limitada na educação. Diz ele:

"It becomes interesting only when it becomes more «outside-in», indicating the kind of world needed to make it possible to use mind (or heart!) effectively - what kinds of symbol systems, what kinds of accounts of the past, what arts and sciences, and so on" (p.9).

A nossa investigação procede deste desejo de contribuir para a construção de mundos que fomentem o exercício do espírito.

Nos últimos anos a formulação das problemáticas, neste campo, tem integrado alguns elementos da Filosofia da Ciência, nomeadamente alguns aspectos do pensamento de Kuhn. Contudo, estes são utilizados, muitas vezes, como um meio de revalorização da psicologia piagetiana.

A este respeito, escreve Solomon:

"One of the triggers for new educational research [refere-se à investigação que tem por objecto as noções dos alunos] was a new approach to science itself which would release some of this rigidity. By the 1970s the new, more relativist philosophies of science had arrived. These made it entirely possible to contemplate and study multiple understandings of natural phenomena. Thomas Kuhn himself, one of the foremost in this movement, acknowledge a debt to Piaget in the preface to his seminal book *The Structure of Scientific Revolutions* (1962).

A footnote encountered by chance led me to the experiments by which Jean Piaget has illuminated the various growing worlds of the child and the progress of transition from one to the next. (Kuhn:vii)"

O apelo à Filosofia da Ciência parece apenas ser realizado na medida em que reforça o interesse psicológico; o lado do "objecto" científico não parece suscitar qualquer interesse. Não estamos, como já referimos, a negar a importância das aquisições em Psicologia; elas devem constituir balizas importantes nas práticas educativas. Estamos apenas a protestar contra o monopólio da sua influência. Veja-se como o "paradigma" construtivista, que rege

muita da investigação no âmbito da educação científica, tem uma raiz quase exclusivamente cognitiva, reduzindo todos os problemas de aprendizagem à "cabeça" do aluno:

"Science educators have tended to study children's acquisition of science concepts from a cognitive development perspective, focusing on the individual child as an entity unto itself, sorting out ideas in his or her own head, and gradually coming to think logically about problems arising from observation or experience. (...) A Vygotskian perspective provides a different focus and may yield insights that have not been available up to now. It shifts the focus from the child as a solitary thinker to the child in a social context, where everyday concepts are integrated into a system of relational concepts through interaction, negotiation, and sharing" (Howe, 1996, p.48).

Embora Howe pareça apostar numa mudança relativamente ao foco de atenção dos investigadores, ela continua excessivamente marcada pela escola das concepções alternativas. Com efeito, vejamos o que ela escreve:

"Another example of research on the integration of everyday concepts into a scientific system is a series of studies in Japan on children's use of everyday biological knowledge (Hatano & Inagaki, 1992; Inagaki, 1990; Inagaki & Hatano, 1991). The investigators began by finding out what the children knew about biology from their everyday experiences with people and pets and then compared children's use of this knowledge to their use of scientific knowledge learned in school. They found that children who have raised goldfish, cared for animals in the classroom or at home, or had similar experiences have a rich knowledge base that enables them to use their knowledge more flexibility, make more plausible analogies and predictions, and generalize knowledge more than children who have the same formal knowledge base but no experience. Although everyday concepts constitute a strong foundation on which children can begin building systematic scientific knowledge, Inagaki (1990) suggests that children do not use everyday knowledge in solving problems in school because they search for one correct answer rather than a useful or possible solution. She raises the interesting point of whether there is an important difference between children's development of scientific knowledge in biological science and their development of knowledge in physical science because everyday biology can be elaborated and incorporated into scientific biological knowledge, but there are few comparable sources of analogy and generalizability in physical science that are available to children" (p.44, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Deste raciocínio está excluído, por exemplo, todo o poder mobilizador da perplexidade e interesse que o contacto directo com os mecanismos artificiais pode produzir. Quando o jovem Mayer percorre os moinhos da região, intrigado com o seu funcionamento, está a desenvolver uma sensibilidade e um interesse que poderão não ter sido estranhos ao seu percurso intelectual posterior. Desta abordagem estará excluído todo o pensamento de Mach, como valor pedagógico, que tanto valoriza a experiência e que, do nosso ponto de vista, é um pensamento pedagogicamente muito valioso, nomeadamente no ensino de uma física fenomenológica.

Howe transfere a tónica do individual para o social; dos elementos para a inter-relação entre os elementos; mas continua excessivamente agarrada ao psicológico. Ora, com Vygotsky aprendemos muitas outras coisas, nomeadamente se olharmos para a sua vida. Muito do seu sucesso passou pelas conferências fascinantes que proferia. Como afirmam Van Der Veer e Valsiner (1993), "in later years he gave fascinating lectures that attracted large audiences and had a truly mesmerizing effect on most people" (p.15). Este sucesso poderá ser entendido pela forma como Vygotsky estava impregnado do que dizia (a condição para se ser um bom professor é, de acordo com Deleuze, estar impregnado do que se diz, ver abcdário, letra P, 1997, registo em cassette video) e pelo facto de proporcionar autênticas "flying lectures". É a sua grande cultura que lhe permite viver intensamente as suas ideias e lhe dá a base artística para as suas conferências. Quem se interesse pelas problemáticas educativas não poderá passar ao lado destes aspectos, que não são, do nosso ponto de vista, laterais.

O princípio em que assenta o "paradigma" do construtivismo em educação - que estabelece que o conhecimento é construído activamente por quem aprende - é algo de adquirido e de consensual, independentemente de todos os matizes associados à noção de construtivismo em educação. Mas este princípio estava já, de certo modo, presente, e de uma forma bastante mais completa, no pensamento de William James no final do século passado, como Jolibert (1996), na sua introdução às "Conférences sur l'Éducation" de William James, salienta:

"L'apprentissage [do ponto de vista de James] ne consiste pas à recevoir un savoir théorique ou technique, mais à vivre en soi-même et pour soi-même une expérience complète" (p.21).

E, no pensamento de James:

"*to experiment* désigne l'adhésion complète et concrète à la vie. Pour reprendre le vocabulaire à la mode, il s'agit à la fois du savoir, du savoir-faire et de l'être. *To experience* veut dire éprouver, sentir en soi-même et pas seulement connaître abstraitement" (id., p.21).

A noção de aprendizagem que aqui se joga parece ser muito mais rica do que a noção pós-piagetiana, subjacente às aprendizagens das noções científicas. Com efeito, a psicologia de Piaget concentrou-se sobre o desenvolvimento lógico dos conceitos, procedendo, assim, a uma certa purificação do acto de conhecer. Se, do lado da Psicologia, este percurso foi de grande importância, já a sua ingressão nos contextos educativos foi, do nosso ponto de vista, problemática, pelo espaço que conquistou. A dimensão puramente lógica esquece, por exemplo, o valor do "étonnement", no contacto com a novidade, aspecto de importância fundamental na aprendizagem das noções científicas.

Se é verdade que Vygotsky é um psicólogo, a forte influência que o seu pensamento jogou no trabalho de investigação por nós antes realizado e continuará a jogar no desenvolvimento deste trabalho releva do lado filosófico do seu pensamento e não tanto dos seus conceitos psicológicos. Com efeito, o quadro de fundo do pensamento de Vygotsky assenta numa valorização da contaminação das ideias, nomeadamente no que diz respeito à contaminação entre conceitos "científicos" e conceitos "espontâneos". Este quadro de fundo continua a ser valioso (e liga com a valorização do "encontro" preconizada por Deleuze) para nós e estará incorporado em muitos dos desenvolvimentos realizados⁹.

Outro aspecto do pensamento de Vygotsky, que liga muito bem com o pensamento dos filósofos que constituíram para nós as influências decisivas ao longo deste trabalho, é a sua referência frequente ao que ele chama "living knowledge". Esta noção deriva de uma certa complexificação na abordagem do pensamento que coloca em cena as ligações, encaradas como imprevistas e, portanto, criativas, nos processos psicológicos (ver artigo "The development of academic concepts in school aged children", de Vygotsky, incluído no livro "*The Vygotsky Reader*", Ed. René Van Der Veer & Jaan Valsiner, Blackwell Publishers, 1994).

Estas ideias de Vygotsky terão um papel relevante nalguns contrastes que pretendemos evidenciar com certas práticas de investigação.

⁹Para uma abordagem ao pensamento de Vygotsky, ver obra referida na nota de rodapé 8.

Um artigo faz história

Uma sensibilidade a um certo tipo de influências foi, ao longo do nosso percurso, sendo complementada com o desenvolvimento de instrumentos intelectuais que nos permitiram fabricar as nossas questões de uma forma, quanto a nós, consistente, pertinente e satisfatória, e que esperamos que possa ter alguma relevância dentro da comunidade de investigação a que pertencemos.

Quando há muitos anos lemos o artigo "Some Observations Concerning the Teaching of the Energy Concept", de Roman Sexl (1981), houve uma pequena frase que teve o mérito de desencadear todo o processo de pensamento que nos veio permitir estabelecer uma ligação especial à problemática da educação científica.

A frase era simplesmente:

"the remarkable fact that a quantity remains constant while height and velocity change"
(p.288, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Foi esta adjectivação "the remarkable fact", este lugar para o espanto, que teve fortes efeitos sobre todo o nosso percurso. Este artigo foi bastante citado, durante a década de 80, pelos investigadores que se interessavam pela aprendizagem da energia (veja-se, por exemplo, Duit) mas este aspecto nunca é retomado.

Encontramo-lo enfatizado e desenvolvido no pensamento de Isabelle Stengers, e foi aí que encontrámos os instrumentos que nos permitiram viabilizar um caminho com "coração". A intensidade emotiva com que ela fala "de l'étonnement" no contacto com o conhecimento científico é um valor fundamental a ter em consideração na educação científica. Este contrasta substancialmente com o valor único da pseudo-precisão em que assenta uma boa parte da investigação nesta área. Ilustremos este último aspecto com uma pequena transcrição do texto de I. Mutimucuo *Conceptions of energy of students in Mozambique* (comunicação apresentada na "First European Conference on Research in Science Education", Leeds, 1995):

"Energy education, a cause for concern? Energy is probably one of the most misunderstood concepts in school physics. Why should energy cause such problems? This, we suspect, apart from others, may be a difficulty with language. (...)

The main aim was to have as best as possible a description of typical conceptions about energy phenomena held by Mozambican students at the start of grade 12 (high school) and first year university. By knowing what students' current ideas are, we expect to be better

equipped to help the students develop a conception of energy more in accordance with physics"

(p. 1, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

A pertinência em continuar a desenvolver investigação sobre o ensino –aprendizagem do conceito de energia reside na constatação de que este conceito continua a ser um dos mais problemáticos na física escolar. Considerando toda a investigação já realizada sobre este problema não deverá a comunidade de investigação interrogar-se sobre os seus contributos a esta questão? Continuando a colocar o problema sempre da mesma forma e a desenvolver estudos semelhantes que transformações pretende protagonizar?

Este tipo de estudo insere-se na escola das "concepções alternativas" e limita-se a confirmar e "expand the findings from other studies concerning student's alternative conceptions of energy" (p.1). Estudos como este têm-se multiplicado por todo o mundo desde há vinte anos (ver relatório sobre esta área de investigação editado por Duit). Refira-se, no entanto, que este artigo exhibe um rigor conceptual que nos parece importante como vivência de quem ensina esta temática. Não pretendemos, evidentemente, atacar a validade deste tipo de estudos; apenas pretendemos atacar o totalitarismo que estas abordagens têm exercido numa área que está longe de encontrar soluções satisfatórias para os seus problemas.

O que é que a noção de energia poderá ter de interessante, de intrigante, de apaixonante, não parecem ser aspectos nobres das problemáticas de investigação¹⁰. Discutindo, um dia, num congresso, com uma colega que tinha feito uma tese no âmbito da problemática da aprendizagem da energia, sobre o nosso interesse no conceito propriamente dito, ela reagiu dizendo: "mas a energia é uma função de estado!". Ora, "l'énergie qui se conserve, justement parce qu'elle se conserve toujours, a perdu son statut de fonction d'état" (I. Stengers, 1997, *Cosmopolitiques*, tome 3, p.49).

Quase que poderíamos afirmar que há uma forma de fazer investigação que pode prescindir da compreensão da temática abordada. A experiência, no sentido de James, do investigador é perfeitamente neutra na aplicação rigorosa de um método. Esta pseudo-cientificidade não nos parece levar o pensamento muito longe.

Com estes dois exemplos, podemos salientar dois aspectos paradoxais no que diz respeito à investigação. Por um lado, a permanência de determinados problemas justifica a repetição "mortifière" do mesmo tipo de investigação; por outro lado, fazer investigação é essencialmente a aplicação do "bom" método.

¹⁰ Ainda hoje sentimos um certo mistério quando apelamos à palavra energia, a sua utilização parece, por si só, catapultar-nos para uma maior intensidade nos nossos discursos.

A revista *Science & Education*, dirigida por Matthews, pretende dar uma abertura maior aos "gestos" do investigador nesta área, valorizando abordagens centradas na utilização da História, Filosofia e Sociologia da Ciência, no desenvolvimento do que poderíamos chamar uma Pedagogia Conectiva, utilizando aqui um termo chave no pensamento de Holton, referência importante para Matthews. Holton aponta, na verdade, nalguns dos seus textos, para uma Física Conectiva. Matthews escreve no seu livro "Science Teaching - The Role of History and Philosophy of Science" (1994):

"One part of this contribution by HPS is to connect topics in particular scientific disciplines, to connect the disciplines of science with each other, to connect the sciences generally with mathematics, philosophy, literature, psychology, history, technology, commerce and theology, and finally, to display the interconnections of science and culture - the arts, ethics, religion, politics - more broadly. Science has developed in conjunction with other disciplines; there has been mutual interdependence. It has also developed, and is practiced, within a broader cultural and social milieu. These interconnections and interdependencies can be appropriately explored in science programs from elementary school through to graduate study. The result is far more satisfying for students than the unconnected topics that constitute most programs of school and university science. Courses in the sciences are too often, as one student remarked, «forced marches through unknown country without time to look sideways»" (p.xv, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Este discurso muito interessante mas excessivamente geral, porque ainda muito pouco materializado na investigação, emerge como reacção aos resultados francamente decepcionantes da educação científica.

1.3 A investigação no âmbito do ensino das ciências e a "crise" na educação científica escolar

Se é certo que a permanência de alguns problemas no âmbito do ensino disciplinar tem servido de justificação para a repetição do mesmo tipo de problemáticas de investigação, também é certo que tem levado alguns investigadores a procurarem outros caminhos. A prová-lo aí está a revista referida anteriormente.

A insatisfação, sentida por todos (mas encarada de forma muito diversa), relativamente à educação científica escolar, que tipo de desafios vem colocar e que tipo de intervenções vem suscitar?

O nosso modesto contributo para a discussão de um problema tão complexo como este tem apenas o objectivo de dar pertinência a outros "gestos" de investigação, ainda minoritários.

Numa versão preliminar do "White Paper on Science Education in Europe" (1995), a ser apresentado à Comissão Europeia, intitulado "Science Education: a case for European Action", um grupo de investigadores reconhece a existência de uma certa "internal «disease» in science education" (p.2, o sublinhado é nosso), sem, no entanto, derivarem daí o falhanço geral da educação científica, sentimento expresso por "employers, social and political researchers, educationists, scientists and by students themselves" (p.2).

Matthews (1994) escreve, a propósito:

"it is widely recognised that there is a crisis in Western science education. Levels of science literacy are disturbingly low. This is anomalous because science is one of the greatest achievements of human culture. It has a wonderfully interesting and complex past, it has directly and indirectly transformed the social and natural worlds, and the human and environmental problems requiring scientific understanding are pressing - yet, disturbingly, students and teachers are deserting science" (p.xiv, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

E, mais adiante, continua:

"There are complex economic, social, cultural, and systemic reasons for this rejection of science. These are beyond the scope of teachers to rectify. But there are also educational reasons for the rejection of science that are within the power of teachers and administrators to change. In 1989, for example, a disturbing number of the very top Australian school science achievers gave «too boring» as the reason for not pursuing university science. It is

these curriculum and pedagogical failings that the history and philosophy of science can help rectify" (p.xiv).

Interessa-nos aqui destacar este mal estar com a educação científica escolar, sem entrarmos na discussão de saber se estamos ou não perante uma crise nesse âmbito, pois, para isso, precisaríamos de outros elementos que não cabe aqui desenvolver.

Como escreve Bevilacqua (1988):

"Il y a une difference profonde entre le succès de la recherche scientifique et les difficultés rencontrées, dans tous les pays du monde, par l'enseignement scientifique.

La question de l'amélioration de l'éducation scientifique est complexe et on ne peut raisonnablement se proposer d'atteindre des solutions générales et complètes. Je pense qu'il est plus utile de se limiter avec réalisme à proposer des contributions spécifiques qui pourront être utilisées selon les préférences et les nécessités des enseignants et des étudiants, très différentes pour chaque pays et chaque école" (p.13).

Estamos, neste aspecto, em sintonia com Bevilacqua. No entanto, queremos acrescentar que estas contribuições específicas deveriam emergir da investigação nesta área.

O contributo que pretendemos dar com este trabalho de investigação situa-se ao nível da elaboração de instrumentos que permitam aos professores o desenvolvimento de uma ligação intensa com o saber que transmitem. Pois a ciência escolar só deixará de ser enfadonha se o professor tiver uma ligação especial com o saber que pretende pôr em cena. Pretendemos, assim, potenciar práticas escolares que contrastem com as práticas que provocam uma impressão de ciência enfadonha, tal como Matthews colocou em evidência. Mas, contrariamente a Matthews que se centra sobre a potencial acção dos professores, sem tocar criticamente alguns desenvolvimentos da investigação, nós, tendo igualmente como objectivo a potencial acção dos professores, não podemos deixar de questionar alguns desenvolvimentos da investigação. Pensamos que a investigação tem descurado a dimensão inventiva, privilegiando, essencialmente, a repetição rigorosa do método. Daí a percepção social do investigador desprovido de ideias¹¹.

¹¹É curioso constatar que as ideias sobre educação científica que mais circulam, em Portugal e em França, têm uma origem exterior à comunidade científica desta área. Com efeito, elas foram lançadas, tanto num caso como noutro, por dois físicos: José Mariano Gago e Charpak. Não se trata de dois físicos quaisquer: o primeiro é Ministro da Ciência e da Tecnologia, o segundo foi prémio Nobel da Física. José Mariano Gago apela ao ensino experimental e Charpak apela ao "hands on". A grande mediatização destas ideias passa, evidentemente, pelo estatuto destes dois cientistas. Os investigadores ficam chocados com o reconhecimento social destes dois intervenientes e têm nisso alguma razão, pois os problemas da educação científica, no discurso destes dois cientistas, estão, de certa forma, simplificados, embora tragam para a ribalta uma dimensão importante do ensino das ciências. Joga, também, a favor destes intervenientes a falta de visibilidade

Esta questão não é nova e já, noventa anos antes, Langevin falava de uma ciência escolar enfadonha e lhe opunha uma ciência viva. Escreve ele (1904):

"Je voudrais chercher avec vous dans quel sens il est possible de le [o ensino científico] rendre plus synthétique et plus vivant, satisfaisant à la fois aux exigences multiples de la culture et de l'action" (p.73).

Langevin, tal como Matthews, vai propor como chave fundamental neste processo de inscrição da ciência na cultura a história da ciência. Tentando caracterizar a ciência escolar da época, afirma Langevin:

"Je me rappelle avoir eu, et beaucoup comme moi sans doute, cette impression de science définitive et morte que donne l'enseignement dogmatique des lois et des faits, faisant participer la physionomie des savants eux-mêmes à l'immuabilité des principes et des dogmes, faute d'avoir compris ce mécanisme de la vie scientifique, ce continuel travail de construction intérieure à l'esprit, à partir d'hypothèses de plus en plus précises dont la physique mathématique nous aide à suivre le développement et dont l'expérimentateur doit confronter le résultat avec les faits qui nous sont extérieures, posant à la nature des questions continuelles, la couvrant d'un réseau ramifié de plus en plus ténu, dont les dernières pousses sont étroitement liées aux branches principales" (p.76).

Os textos de Langevin continuam a ter grande actualidade. O excerto do texto que aqui transcrevemos poderia ser escrito agora. Na verdade, a "impressão de ciência definitiva e morta" continua a ser a experiência mais comum no contacto com a física escolar. Outro aspecto muito caro a Langevin e patente neste texto é o valor pedagógico das grandes sínteses (como os dois princípios da Termodinâmica, a que Langevin atribui o estatuto de "branches principales"), ausente, na época, do ensino da Física. Embora os currícula já incorporem, hoje, o valor das sínteses, as práticas pedagógicas parecem, por vezes, ainda "indiferentes" a este aspecto.

Contra o aspecto fragmentário da ciência escolar e contra uma ciência escolar que dá uma impressão de ciência definitiva e morta, Langevin propõe a história como remédio. Mas que história da ciência? Da análise dos seus textos sobre o ensino científico, Bernadette Bensaude-Vincent (1987) conclui que, para Langevin:

da comunidade científica. Se é certo que variados factores contribuem para essa invisibilidade, pensamos que o peso excessivo que as noções dos alunos têm tido na investigação não será alheio a esse facto.

"l'histoire, qui présente les efforts d'adaptation de l'esprit à la réalité, révèle une science jeune, vigoureuse et attirante. C'est l'histoire encore qui donne une «confiance prudente et réfléchie» dans les lois. En montrant où finit leur champ de validité, elle neutralise les arguments d'autorité et prévient les extensions illégitimes des lois hors de leur domaine. Bref l'histoire est la panacée. Elle redonne vie aux discours les plus figés et rajeunit la science; elle transmute l'enseignement des sciences en véritable éducation scientifique" (p.54, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Bensaude-Vincent continua perguntando: "ce combat pour l'histoire est-il bien novateur?" (id.). Relativamente a esta questão, escreve:

"Un coup d'œil sur les directives ministérielles et sur les manuels de la fin du XIXe siècle montre cependant que la leçon positiviste a été entendue et que la méthode historique est largement mise en œuvre dans les sciences expérimentales (Hulin, 1984). En sciences comme en lettres, la mode est aux rétrospectives: on publie des histoires générales, on réédite les classiques. et on tente d'organiser l'enseignement de l'histoire des sciences (Coumet, 1981). (...). Alors pourquoi défendre avec passion une cause en apparence déjà gagnée? Pourquoi Langevin critique-t-il l'«esprit de l'enseignement scientifique» alors qu'il est plutôt «dans la ligne»?

Ce mélange de conformisme et de révolte est l'indice qu'il y a d'autres enjeux dans ce combat pour l'histoire. Si Langevin remet à l'honneur les catégories d'Auguste Comte et réactive les notions de base, c'est, en fait, pour contester l'héritage positiviste. Certes, les manuels de physique sont pleins de noms et de dates; depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours, ce n'est qu'une accumulation d'expériences, une suite interminable de lois et de principes. Mais, pour Langevin, c'est de l'histoire dogmatique, c'est de la science morte. Il brandit l'histoire pour lutter contre la méthode historique des manuels. Deux conceptions de l'histoire s'affrontent et derrières elles deux conceptions de la science elle-même. La méthode historique traditionnelle reposait sur une vision empiriste du savoir scientifique: sa vertu pédagogique essentielle était de montrer que toute proposition générale est induite à partir d'expériences. Par le biais de l'histoire, Langevin espère illustrer un autre message. Il entend montrer le rôle des hypothèses et de la théorie dans la production scientifique (1904a, 76). Il conçoit donc l'histoire comme défense et illustration de l'esprit de synthèse en science" (p.54, 55, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Com efeito, a utilização da história da ciência no ensino da ciência é também fonte de tensões problemáticas, nomeadamente em torno da questão: que história da ciência? Este aspecto será desenvolvido mais adiante.

Langevin escreveu os seus textos numa época em que a História e a Filosofia da Ciência não tinham os desenvolvimentos de que dispomos hoje.

A materialização de uma ciência viva, preconizada por Langevin, é muito alimentada nos escritos de Isabelle Stengers. Valorizando as polémicas na construção da ciência, ela dá-nos a ver, através de casos particulares, aquilo que nos parece ser o mais valioso: a invenção de formas de tratar o fenómeno que fazem a diferença, isto é, que têm o poder de convencer os adversários. Vejamos o exemplo seguinte:

"Polemics is constitutive of science, but here polemics at its best is meant to produce people able to work together in a new history. The most beautiful victories in the memory of science are the victories where both winners and losers were happy. They shared the triumph of an invention. A way of dealing with phenomenon had been invented through which this phenomenon had got the power to put everyone in agreement. Such links created then new possibilities that everybody may share. A new story was beginning.

A beautiful example of theorico-experimental science at its best is, for instance, the reaction of the physicist Wilhelm Ostwald when Jean Perrin published his book *Les atomes*. Ostwald's scientific life had been devoted to one ambition: to substitute energy for matter as the main reference for physical reality. He was thus a fierce opponent to the hypothesis of atoms. But when he read Perrin he was convinced and wrote to tell him so" (p.33, 1994).

Narrativas como esta poderão ser, do nosso ponto de vista, instrumentos de "impregnação", de desenvolvimento de laços especiais com a ciência.

Continuando ainda com Langevin, vejamos o que ele escreve relativamente aos manuais escolares:

"Un caractère dominant des manuels de physique, c'est la juxtaposition sans grande perspective des faits et des lois d'un bout à l'autre de l'ouvrage, et pour rendre un exemple, en électricité, où se déroule un cortège imposant de lois bizarres et de grandeurs nouvelles avec leurs unités. Ce caractère est rendu nécessaire par un souci de rigueur peut-être prématuré, avec cette aggravation que, comme le disait il y a quinze jours M. L. Poincaré,

la présentation est le plus souvent faite sous forme dogmatique, l'énoncé de la loi tombant on ne sait d'où, et le physicien prenant une attitude de simple vérification" (p.75).

Este "souci de rigueur" prematuro parece ser uma herança muito presente na escola das concepções alternativas, como veremos mais adiante. Ora, como afirmava Whitehead, a "fase da precisão" sem as fases do romance e da generalização não terá qualquer valor educativo (desenvolveremos mais adiante estes aspectos).

Relativamente ao ensino das ciências, Langevin escreve num artigo "La valeur éducative de l'histoire des sciences (1926):

"Personnellement, si j'en étais resté aux impressions éprouvées à la suite des premières leçons de sciences de mes professeurs - à qui je garde cependant le souvenir le plus reconnaissant - si je n'avais pris un contact ultérieur ou différent avec la réalité, j'aurais pu penser que la science était faite, qu'il ne restait plus rien à découvrir... alors que nous en sommes à peine aux premiers balbutiements dans la connaissance du monde extérieur. Croire qu'il n'y a plus que des conséquences à tirer de principes définitivement acquis est une idée absolument erronée et qui risque de faire perdre toute valeur éducative à l'Enseignement scientifique" (id., p.195).

Com este artigo, Langevin propõe-se mostrar que:

"L'enseignement scientifique perd à être uniquement dogmatique, à négliger le point de vue historique.

En premier lieu il perd de l'intérêt. L'enseignement dogmatique est froid, statique, et aboutit à cette impression absolument fausse que la science est une chose morte et définitive" (id., p.195).

A uma "distância" de noventa anos Langevin e Matthews (sem que Matthews tenha lido Langevin) parecem partilhar sentimentos e ideias no que diz respeito ao estado do ensino das ciências e no que diz respeito aos benefícios da história da ciência para uma possível alteração do estado de coisas. Como vimos, Langevin coloca em evidência o carácter dogmático e utilitarista da ciência escolar. Com ele percebemos já alguns elementos do valor formativo da história da ciência: na capacidade que dará de realçar as grandes sínteses; nas ferramentas que proporciona para a libertação da teia única da pseudo-precisão.

Vale a pena transcrever aqui um excerto do texto de Langevin "la valeur éducative de l'histoire des sciences" e compará-lo com o excerto de Matthews transcrito na página 27:

"Non seulement l'étude historique des sciences présente au point de vue pédagogique comme au point de vue purement scientifique les avantages que je viens d'exposer, mais en plus elle vient compléter et éclairer les enseignements voisins. Son influence sur la philosophie est indéniable, puisque, en grande partie, celle-ci prend pour base la science elle-même. L'histoire, de son côté, doit tenir compte de l'influence exercée par les conceptions scientifiques sucessives sur la marche de la civilisation et sur la structure des sociétés ou des gouvernements. La civilisation et la législation grecques ont été pénétrées du même esprit que la science grecque avait introduit. A la Renaissance, la libération des esprits et la Réforme ont représenté une réaction contre les abus de la scolastique et de la mystique déductive. Au XVIIIe siècle, il est incontestable que Newton a joué un rôle important dans l'évolution sociale: les encyclopédies, précurseurs de la Révolution française, prennent leur inspiration et leur modèle dans les œuvres du savant anglais" (La valeur éducative de l'histoire des sciences, p.207).

Ainda que Matthews não tenha lido Langevin, as mesmas ideias parecem ser exibidas nos seus escritos, como é fácil constatar.

Será, então, que a educação científica está no mesmo ponto em que se encontrava há noventa anos? Sem dúvida que não, mas há talvez alguns aspectos que pouco mudaram. O "boom" no desenvolvimento da investigação nesta área específica, que se verificou ao longo dos últimos trinta anos, que enriquecimento trouxe às problemáticas de investigação, que novos instrumentos introduziu na colocação dos problemas? Que efeitos tem tido nas práticas educativas?

Para responder a estas questões seríamos levados a uma investigação histórica sobre a educação científica e sobre o desenvolvimento da investigação no quadro da educação científica. Não é esse o nosso problema. Apenas tentaremos deixar aqui alguns elementos que nos ajudem a pensar a investigação que se faz hoje no âmbito do ensino dos conceitos científicos e, consequentemente, as próprias práticas educativas.

Assim, por exemplo, Langevin assinala um marco importante no ensino das ciências em França: "signalons à ce propos toutefois l'heureuse introduction des manipulations, faite avec succès depuis 1902" (La valeur éducative des sciences, p.194). Refira-se, no entanto, que esta frase aparece no texto entre parêntesis, o que ilustra bem que, embora Langevin reconheça a importância das manipulações elas não são tudo numa verdadeira educação científica. É verdade que hoje poderemos dizer que perdemos muito no que diz respeito às manipulações e nesse sentido é pertinente a palavra de ordem: por um ensino experimental! Contudo, houve um ganho da maior importância, o alargamento do acesso à escola, que fará com que hoje a

questão das manipulações se coloque, necessariamente, de outra forma. Esta expansão traz consigo toda uma panóplia de problemas que são próprios da época em que vivemos. Queremos, com isto, dizer que os problemas da educação, em geral, e da educação científica, em particular, serão bastante mais complexos que no tempo de Langevin. No entanto, toda a sua reflexão continua a ter grande pertinência hoje. Se Langevin já tinha percebido que o acesso às manipulações, embora importante, não era suficiente para passar para uma verdadeira situação de educação científica, será correcto, hoje em dia, com a complexidade dos problemas existentes, defender uma única via, por exemplo a experimental, como meio de resolução de todos os problemas da educação científica?

Nenhuma via única será, no nosso entender, a boa via. É da cooperação entre vários aspectos que poderemos vir a concretizar "flying classroom", onde os alunos se sintam contentes por aí estarem, pois, como afirmava Whitehead, "the first thing that a teacher has to do when he enters the classroom is to make his class glad to be there" (*Essays in Science and Philosophy*, 1948, p.127). O trabalho que vamos desenvolver vai necessariamente, por questões metodológicas de investigação, colocar a tónica numa via - a construção histórica do conceito de energia - que empreendemos, por um lado, porque é necessária para uma abordagem formativa do conceito de energia, como foi comprovado no trabalho anterior (ver M. Valente, *A Pedagogia do Conceito de Energia*, 1993), por outro lado, de uma forma geral, por a considerarmos pedagogicamente valiosa (já que permite a "impregnação") e ainda insuficientemente desenvolvida.

Vimos, assim, que tanto Langevin como Matthews preconizam os estudos históricos como instrumentos importantes no combate a algumas falhas do ensino da ciência, permitindo a realização de uma verdadeira educação científica. Neste sentido, tem havido alguns esforços isolados de valorização da história da ciência na educação escolar sem grandes consequências. Se olharmos, hoje, para os manuais escolares e para as práticas educativas as referências históricas não são mais do que um possível "adereço" na introdução de uma temática, tal como o eram no tempo de Langevin. Se alguma crença houve no poder da história da ciência no combate às crises quase permanentes do ensino da ciência, ela não parece ter tido grandes consequências.

Talvez possamos entender estas dificuldades tomando em consideração, por um lado, as expectativas excessivamente ambiciosas depositadas nesta temática, e, por outro lado, o facto de não ter contaminado suficientemente a investigação das comunidades educativas.

Com efeito, a História e a Filosofia das Ciências são capazes de alimentar possibilidades de intervenção educativa muito diversas. O problema estará em concretizá-las. Os discursos

continuam a ser ainda muito gerais. Por exemplo, quando Matthews diz que um dos contributos da História e Filosofia da Ciência, nas problemáticas educativas, é permitir ligar tópicos de áreas disciplinares diferentes e mostrar as interconexões entre ciência e cultura (artes, ética, religião, política), não podemos senão estar de acordo com ele. Contudo, não será fácil concretizar este aspecto. Os exemplos de construções históricas, utilizados pelo próprio Matthews, poucas incursões fazem à literatura, à pintura, ou a outras artes da época em questão.

Introduzimos este ponto com dois textos: um de Matthews e o outro de um grupo de investigadores europeus. Até agora apenas explorámos algumas das ideias de Matthews. Vejamos, então, o que é que o artigo preparatório do debate sobre educação científica propõe como alternativas.

Começemos por alguns aspectos colocados em evidência neste artigo e, nomeadamente, pelos desafios colocados à educação científica.

"The description of the new challenges to science education cannot be entirely neutral. It depends on the point of view from which different social actors regard the need for better scientific culture. From a political point of view, the capacity for modern citizenship, for democratic participation and understanding of major social, economical or technological issues, requires scientific culture to be widely shared by the vast majority of the population. In this sense, modern citizenship needs the competency to understand and to question the terms of the social and political problems being addressed, which are, quite often, dominated, affected or blurred by scientific complexities" (p.3).

Assim, a cultura científica, de acordo com este grupo, é um aspecto indispensável no exercício da cidadania, hoje. Para além de indispensável os autores dão-lhe um lugar de grande relevo, ao escreverem: "Scientific literacy is (correctly, in our view) pointed out as a major source and precondition for modern citizenship in democratic societies" (p.2, o sublinhado é nosso). É nesta base que o grupo se mobiliza, contrastando a falta de "cultura científica" dos agentes educativos - derivada de um determinado modelo de formação dos professores - com as expectativas, talvez exageradas, geradas em torno do que poderia ser uma verdadeira educação científica.

Neste artigo são tecidas algumas críticas à ciência escolar praticada na maioria dos países europeus, evidenciando o seu afastamento de uma verdadeira educação científica, incapaz de gerar cultura científica. Resta tentar perceber o que é entendido por cultura científica. Como escreve Isabelle Stengers (1996, *Cosmopolitiques*, 1):

"Les sciences, telles qu'elles s'enseignent, c'est-à-dire telles qu'elles se présentent dès lors que leurs résultats sont déliés des pratiques de la science «telle qu'elle se fait», n'ont pas un sens très différent d'une machine de guerre religieuse, désignant un chemin de salut, condamnant le péché et l'idolâtrie. Et ce n'est pas en faisant appel à une meilleure «culture scientifique» que sera résolu ce problème, le problème du mode d'existence parmi nous des neutrinos, gènes, neurones, fossiles, et autres créatures scientifiques. Que celle-ci soit ce qui toujours manque, ce dont le défaut est toujours invoqué, ce dont l'existence serait une espèce de panacée, sans que personne d'ailleurs ne puisse dire en quoi elle consisterait (puisque la plupart des scientifiques sont, apparemment, les premiers à manquer de cette fameuse culture), traduit bien le mode d'existence fantomatique de ce qui est là invoqué" (p.46).

Vejamos então o que os autores do texto em questão entendem por cultura científica:

"more cultural, meaningful and therefore more effective. Lack of resources and superficial teachers' training, associated with a non scientific cultural background, insufficient awareness of the education authorities of the special role of science education, may lead to rhetoric rather than experimental practice, and to the teaching of science as «facts» and dogmas instead of knowledge processes. Such «science» education is quite often useless and culturally noxious" (p.3, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

"More cultural" e "more meaningful" poderiam também ser palavras de ordem de Matthews e de Langevin. No entanto, referem-se aqui a categorias substancialmente diferentes. Com efeito, neste texto tudo parece confluir para a prática experimental. Assim, a leitura de todo o texto conduz-nos a pensar que possuir cultura científica significa ter passado por uma experiência de investigação experimental na área disciplinar correspondente. Significa, ao nível dos alunos, um ensino/aprendizagem centrado numa prática experimental, separada, diríamos nós, daquilo que a pode tornar, de facto, interessante. Uma valorização dos processos de produção de conhecimento científico parece ser, na abordagem destes autores, inerente a uma prática experimental, entendida no sentido de realização de experiências. Ora, a realização de experiências, por si só, não tem o condão mágico de pôr em cena estes processos. Tal como fazer passar o professor por uma experiência de investigação na área científica de que é originário - como defendem estes autores - não terá o poder, por si só, de tornar esse professor "culto" cientificamente.

Se é verdade que o contacto com a "ciência em acção" pode ter um valor formativo importante, não nos parece, no entanto, que esse valor formativo se produza apenas desenvolvendo uma investigação na respectiva área científica. Como acentua I. Stengers, os cientistas são, muitas vezes, "incultos" cientificamente. Whitehead refere que o saber especializado é, muitas vezes, acompanhado por uma falta de cultura (*Science et le Monde Moderne*, p.227). E o "célibat de l'intellect" era visto, por Whitehead, como um dos potenciais perigos para o século xx.

Bevilacqua (1988) deriva também alguns dos problemas do ensino das ciências da in experiência de investigação dos professores. Escreve ele:

"Ainsi si on connaît la science uniquement à travers les manuels on en aura une représentation très limitée, en particulier on ne trouvera pas d'analyse du contexte de la découverte et du contexte de la corroboration, mais seulement la justification des théories et des résultats acquis. C'est ce qui est réservé à la plupart des étudiants, et aussi aux professeurs d'école qui n'ont jamais fait de recherche scientifique" (p.15).

Bevilacqua parece, assim, acreditar que uma experiência de investigação na área científica de que o professor é originário proporciona algum conhecimento sobre os "enjeux" da descoberta. Ora, a investigação desenvolve-se dentro do período normal da ciência em questão. O aspecto positivo de uma experiência deste tipo poderá ser uma maior consciência sobre a importância da definição do problema na construção do conhecimento, como Bevilacqua refere, e sobre a ligação que o investigador estabelece com o "seu" problema. Bevilacqua reconhece, no entanto, a impossibilidade de levar os professores a fazerem investigação nas suas áreas respectivas, apontando como solução adequada a este tipo de problema um contacto com a investigação em História da Ciência. Assim escreve:

"On ne peut avoir aucun espoir de changer un enseignement conservatif (centré sur les résultats) en un enseignement innovatif (centré sur la définition des problèmes) en changeant seulement le contenu des études. Ce qu'il faut changer, c'est la méthodologie elle-même. Dans la plupart des pays, les enseignants de physique au niveau du secondaire n'ont jamais fait de recherche scientifique. Ils ont appris les résultats scientifiques dans des manuels, eux-mêmes ne connaissant que la science «publique» de Holton, la science «normal» de Kuhn. Pas étonnant si les étudiants n'arrivent jamais à connaître l'existence de la partie plus intéressante de la science, la recherche scientifique. Face à l'impossibilité évidente que les enseignants fassent de la recherche scientifique en physique

contemporaine, l'idée qu'ils puissent faire de la recherche en histoire des sciences apparaît comme un substitut précieux" (p.17).

Diferentemente de Bevilacqua, não vemos a investigação e o contacto com a história das ciências como um substituto precioso de algo que se revela impossível de realizar, mas sim como uma dimensão necessária para quem pretende promover a educação científica, nomeadamente para a investigação sobre o ensino das ciências.

Quando os autores opõem prática experimental a retórica, parece-nos estarem a esvaziar a prática experimental de todo o seu valor educativo, se entendermos por retórica o seu sentido aristotélico: falar para, como é referido por J. Schlanger (1983):

"Rhétorique en un sens largement aristotélicien: parler pour. Pour quelqu'un, pour quelque chose; s'adresser à quelqu'un en vue de quelque chose: communiquer, convaincre" (p.14).

Neste sentido, a prática experimental não será apenas esvaziada do seu valor educativo mas também de todo o seu conteúdo. Como escreve Schlanger, o termo retórica transporta consigo uma carga pejorativa "communément liée au terme dans son usage diffus" (p.126). Com o termo de retórica, transformado em instrumento teórico, Schlanger vai abordar a dimensão de invenção no acto de conhecer. E fá-lo do seguinte modo:

"Rhétorique, donc, en ce sens qu'il ne s'agit ni de psychologie ni de logique. Ni de linguistique. (...) Je ne recours pas à la notion de rhétorique pour emprunter à l'histoire de la rhétorique l'un de ses systèmes de codification descriptive. Ceux-là n'ont rien de particulièrement féconds, et pour formuler la transativité inventive ils ne sont pas supérieurs aux langages logiques. Je ne me réfère pas non plus à la distinction aristotélicienne des types différents de situations discursives. Ni, en fait, à aucune armature préétablie. Toutes les discursivités ont en commun d'innover pour connaître et d'innover en formulant" (p.126, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta noção de retórica permite uma abordagem à inovação teórica que não é de ordem psicológica "et ne se ramène pas non plus, en droit, à un niveau logique" (p.125). Como ela escreve:

"Si créer dans le connaître est faire exister des spectacles du monde, poser des vis-à-vis partiels ou moins partiels, il y a dans la poétique de l'heuristique une dimension d'altérité

transitive et de transitivité donatrice, qui ne se ramène pas à un fonctionnement. Pas même à un fonctionnement qui intégrerait la motivation dans sa description" (p.126, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

E Schlanger continua, mais adiante:

"Une étude sur les modalités de l'invention conceptuelle, c'est avant tout une étude sur les extériorités constitutives des affirmations. Sur les relations démultipliées entre les creux et les pleins, sur la pluralité contractée et dispersée, sur la rapt des termes et la contamination des compétences, sur les compréhensions abusives aussi. C'est une étude sur l'heuristique entendue comme une poétique *sui generis*. Une activité qui vise des buts qui lui sont propres selon des régulations qui lui sont propres; une activité dont le «comment» engrène sur un «comment faire»; et ce faire a pour objet de donner et de poser le spectacle. Il s'y pose une question de justesse, de stratégie, de satisfaction" (p.129, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta bifurcação para o pensamento de Schlanger parece-nos oportuna, no momento em que se põe em cena o ensino experimental das ciências, fazendo a economia de aspectos fundamentais como a invenção. Fazer ver alguns dos "espectáculos do mundo", produzidos por uma área científica experimental, exige uma preparação que não poderá deixar de valorizar a produção de narrativas. Um dos instrumentos de produção de narrativas é a História da Ciência.

Como temos vindo a referir, a escola dominante nesta área de investigação (ensino/aprendizagem de conceitos físicos) tem sido, nos últimos vinte anos, a escola das concepções alternativas. Se é verdade que esta linha de investigação trouxe para a ribalta alguns aspectos importantes, como veremos, não é menos verdade que poderá ser acusada de fonte de ideias inertes no que diz respeito à acção educativa, como também tentaremos mostrar. Esta metodologia das concepções alternativas começou também a estender-se à investigação sobre as noções relativas à natureza do conhecimento científico. Veja-se, por exemplo, o livro de R. Driver e outros: "Young people's images of science" (1996). Constatase uma transferência de objecto - das noções científicas para as noções sobre a natureza do conhecimento científico - mantendo-se, contudo, o mesmo estilo de problemáticas e de métodos. Ora esta transferência de metodologia apresenta, quanto a nós, dois perigos essenciais:

1. Vem reforçar a ideia de que a investigação no âmbito do ensino das ciências, e da física em particular, encontrou a metodologia certa. Deixa-se de falar na escola das concepções alternativas mas fica uma metodologia que vem perpetuar um certo modo de fazer.
2. Vem reforçar a ilusão da neutralidade do investigador aspecto materializado num discurso em que o investigador não põe em causa as suas próprias noções. A aplicação do método é tudo.

Sobre o ensino-aprendizagem da energia

Ao lermos um artigo de investigação sobre o ensino de alguns conceitos físicos não poderemos deixar de nos questionar sobre a origem das ideias que nele se pretendem fazer passar, sobre a pertinência da autoridade com que essas ideias são veiculadas. As questões relacionadas com o ensino da energia deixam-nos, nomeadamente, uma grande insatisfação.

Quando, por exemplo, se fala das dificuldades de aprendizagem associadas à noção de energia e se propõem estratégias de ensino, qual é a noção que estamos a querer fazer passar? Onde a fomos buscar? A uma certa tradição de ensino? Aos manuais científicos? Que manuais?

Vamos tentar mostrar ao longo do nosso trabalho que o saber que possa constituir-se como mobilizador de educação científica não é imune a tensões problemáticas. Antes pelo contrário, parece-nos ser um terreno que merece ser valorizado nas problemáticas de investigação. Bruner (1996) faz o elogio de Robert Karplus, figura de proa do movimento de reforma curricular americana dos finais dos anos sessenta, princípios dos anos setenta. Refere, nomeadamente, um filme seu sobre a "irreversibilidade" como um admirável exemplo de suporte pedagógico. Diz ele a este respeito:

"Not only does the film make everybody think (which in itself is a glorious pedagogical outcome), but it also livens the conversation" (p.116).

A produção deste tipo de instrumentos - ricos de significação, por serem potentes na colocação do pensamento em movimento - não corresponde a um trabalho de mera aplicação. Esta produção exige toda uma investigação teórica sobre os conceitos e sobre a relação com o conhecimento.

Vejamos, muito telegraficamente, alguns pontos de insatisfação na leitura de alguns artigos de investigação sobre o ensino/aprendizagem da energia. A maioria dos autores parte de uma

citação de Feynman, em que este diz que a energia "is a most abstract idea". Esta frase é encarada quase como um dogma, um ponto de partida, quase intocável, para qualquer investigação nesta temática. O significado e a pertinência de tal afirmação não são discutidos, quando é importada para o domínio da Didáctica.

Sem entrar em grandes pormenores, poderemos dizer que há, essencialmente, duas reacções didácticas a esta frase: uma, como a de John Beynon, que impõe uma linguagem abstracta no ensino da energia; a outra, como a de Solomon, que acaba por desencorajar a tónica que se põe no ensino desse conceito. Dada a sua natureza abstracta, o seu ensino, para alguns educacionalistas, não terá significação para o aluno. A significação, para Solomon, é algo que é dado à partida, como veremos mais adiante; ora, para nós, a significação não é dada: fabrica-se.

John Beynon (1990) pergunta-se:

"So why is there so much confusion with energy?" (p.315).

Ao que responde:

"Obviously, because it is not treated as an abstract physical quantity but something *real*, just like a piece of cheese, so there is no reason why it cannot be stored and moved!" (p.315).

Este autor, como muitos outros didactas, ficaria chocado com a história que Planck conta a propósito do seu primeiro contacto com a conservação da energia. Acrescente-se a isto a confusão que perpassa, no seu discurso, entre real e concreto (material). Planck defenderia uma noção de energia abstracta mas real. A única realidade não é a matéria, diria Mayer.

Beynon acaba o seu artigo afirmando:

"I have no doubt at all that the problem of teaching energy will remain insoluble until teachers, themselves, have a clear understanding of the concept of energy" (p.316).

Nós diríamos exactamente o mesmo com a diferença de que, para este autor, a própria compreensão clara do conceito de energia não é fonte problemática. Para ele, parece não haver qualquer questão sobre isso, pois "the generally accepted definition of energy is: *the capacity or ability for doing work*" (p.314). Ora, esta definição, pertinente quando o segundo princípio ainda estava numa fase embrionária, não pode, hoje, ser encarada como a definição da energia.

A sua validade é muito restrita. Por outro lado, como veremos mais adiante, houve autores, como Mayer, que a utilizaram numa base fenomenológica, fazendo viver a dimensão "real" da energia.

Embora de uma forma muito sucinta, queremos colocar aqui em evidência alguns elementos, por vezes contraditórios, dos discursos sobre o ensino/aprendizagem da energia que constituem para nós tensões problemáticas.

O outro discurso referido (de Solomon) será discutido mais adiante .

Lijnse (1990) elabora a questão de uma forma um pouco mais sofisticada, admitindo a oportunidade da discussão em torno da natureza da energia, mantendo como referência fundamental o pensamento de Feynman. A esse respeito escreve:

"In physics, energy is an abstract theoretical concept. Its purpose is to explain nature from a theoretical, unified point of view. Its fundamental property is that it is conserved" (p.571).

Mais adiante, continua:

"In physics, energy is a purely abstract idea, and not something substantial of which anyone can become aware by commonplace experience (Warren, 1982). It is a matter of discussion whether this abstract idea can be adequately put into words, for instance, «as the capacity to do work», or whether the idea derives its meaning, in the end, from the mathematical structure of which it is a part" (p.573).

Parece-nos aqui que o autor coloca em alternativa dois aspectos que não serão alternativos. Basta, para isso, fazermos apelo ao próprio Feynmann, que se refere à energia como uma entidade puramente matemática e que para introduzir esta noção conta uma história. No entanto, Lijnse não faz referência à história. O colocar em palavras, a prática narrativa faz parte dos processos de invenção científicos, como refere Bruner.

Um outro aspecto que não nos satisfaz neste discurso é mais uma vez a forma como uma certa didáctica cristaliza o pensamento de Feynman. Este põe em cena a noção de energia com uma narração cheia de significação - a história dos cubos - pelo "suspense" que cria e pelas possibilidades de pensamento que suscita.

Levando o seu raciocínio longe, Lijnse poderia acabar por concluir, como outros didactas, que o melhor seria eliminar a palavra energia do ensino até ao nível em que os alunos estejam

matematicamente preparados para essa abordagem. O próprio autor reconhece que poderia ser levado nessa direcção mas é nisso bastante cauteloso. Diz ele:

"Whether this implies that «teachers of physics should eliminate the word energy entirely from elementary teaching» (Warren, 1982) is, however, a question that still needs further consideration" (p.574).

Voltaremos mais tarde a outros aspectos deste artigo, por agora apenas pretendemos exhibir a excessiva preocupação com um rigor derivado de um ponto de partida - neste caso uma frase de Feynman - que faz autoridade e que cristaliza completamente nas mãos daqueles que o vão utilizar com fins didácticos (o que contrasta completamente com a utilização feita por Feynman).

Esta questão prepara-nos o terreno para a introdução de alguns aspectos, quanto a nós muito pertinentes, do pensamento de Whitehead no que se refere à educação. É o que tentaremos fazer na secção que se segue.

1.4 Implicações do pensamento de Whitehead para o balanço da investigação realizada no âmbito do ensino/aprendizagem dos conceitos científicos – contributo para um protesto contra algumas “ideias inertes”

The adventure of life cannot be disjoined from intellectual adventure.

Whitehead em *The Aims of Education*, p.94.

A nossa descoberta de Whitehead potenciou, no nosso imaginário, um encontro com Fernando Pessoa, por várias razões.

Porque Fernando Pessoa é contemporâneo de Whitehead. Porque é poeta, e a poesia teve um papel muito importante no desenvolvimento da filosofia especulativa de Whitehead. E porque Fernando Pessoa exhibe na sua poesia valores fundamentais na constituição do pensamento de Whitehead.

Com efeito, a sua poesia, por um lado, coloca em evidência o carácter múltiplo da experiência humana – como escreve Armand Guibert (1987), “Fernando Pessoa celui qui était personne et multitude” (p.271).

Por outro lado, ela canta o “valor” do que existe. Por exemplo, encontramos versos como estes:

"Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol,
os dois existem, cada um à sua maneira"

Ou estes:

"O binómio de Newton é tão belo como a Vénus de Milo.
O que há é pouca gente para dar por isso.

óóóó-óóóóóó óóó... óóóóóóóó óóóóóóóó

(o vento lá fora)" (1986, p.278).

A significação destes últimos versos será retomada mais adiante, pois faz uma extensão do valor do que existe aos produtos da cultura. Poderíamos dizer, retomando os primeiros versos, “o binómio de Newton é tão belo quanto a Vénus de Milo, os dois existem, cada um à sua maneira”.

A incidência do pensamento de Whitehead sobre nós

Ao referirmos o nosso contacto com o pensamento de Whitehead não poderemos deixar de mencionar o efeito mobilizador do seminário de pós-graduação sobre o autor, da responsabilidade de Isabelle Stengers. Aquelas manhãs de Sábado deixaram uma marca muito especial na nossa memória. Retomando os termos do nosso texto, diríamos que vivemos o que se poderia designar por “flying seminary”.

Antes de frequentarmos o seminário, já nos tínhamos deixado seduzir pela leitura do livro “La Science et le Monde Moderne”, mesmo se ainda não tínhamos condições para uma compreensão mínima da filosofia especulativa de Whitehead. Depois de todo este percurso, podemos dizer que o nosso fascínio tinha várias origens, que passaremos a explicitar.

1) O método da utilização de contrastes.

A maneira como Whitehead faz viver os contrastes na narração da história da humanidade foi para nós uma descoberta valiosa. Com efeito, ele consegue introduzir um dinamismo na sua escrita que contrasta imediatamente com muitas das histórias mortas exibidas em muitos dos manuais escolares, quando tentam fazer algumas incursões à história da ciência.

Por exemplo, quando ele escreve:

“Le contraste [entre le Moyen Âge et le XVIIIème siècle] est symbolisé par la différence entre la cathédrale de Chartres et les salons parisiens, où d’Alembert conversait avec Voltaire” (p.76).

Esta simples frase coloca-nos intelectualmente em movimento e faz-nos interessar pela questão.

Esta abordagem e forma de escrita será uma referência metodológica importante para o nosso trabalho.

2) Um contraste faz história.

Whitehead coloca em cena o contraste entre a poesia do movimento romântico inglês e a filosofia científica materialista herdada do século XVIII. Este contraste permite-lhe valorizar a poesia no acto de dizer a experiência. Permite-lhe:

“esquisser une philosophie objectiviste entre la science et cette intuition fondamentale de l’humanité qui trouve son expression dans la poésie et son illustration pratique dans les présuppositions de la vie quotidienne” (p.119).

Inspirando-se nos poetas, Whitehead releva a ideia de que um “accomplissement esthétique se mêle à la texture de la réalisation” (p.118). Ou, mais explicitamente, e recorrendo ao seu texto:

“le salut de la réalité réside dans ses entités obstinées, irréductibles, pragmatiques, qui ne peuvent être qu’elles-mêmes. Ni la science, ni l’art, ni l’acte créateur ne peuvent se soustraire aux faits obstinés, irréductibles, limités” (p.117, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Quer dizer, citando Isabelle Stengers: “L’expérience du scientifique s’ajoute à l’expérience du poète” (ver L’effet Whitehead).

Assim, Whitehead faz o elogio da poesia romântica e do conhecimento científico (excluindo os românticos que desqualificam a ciência e excluindo o pensamento mecanicista - que é apoucador da realidade, como dizia Leonardo Coimbra), procurando em ambos os campos elementos para a construção do seu pensamento. Como veremos, a propósito dos textos publicados sob o título “The Aims of Education”, a influência romântica está presente desde cedo, na sua obra. Podemos, então, dizer que a percepção de Whitehead deste contraste (poesia romântica/pensamento mecanicista) faz história, pelo relevo que permite dar à experiência humana.

3) A valorização da dimensão estética.

Quando lemos o livro “La Science et le Monde Moderne”, por entre todo o “lure for feeling” que nos tomou, houve algumas frases que nos tocaram de forma especial. Um exemplo marcante é o seguinte:

“Quand vous comprenez tout ce qui concerne le soleil, l’atmosphère ou la rotation de la terre, vous n’avez pas pour autant perçu la beauté d’un coucher de soleil. Rien ne remplace

la perception directe de la réalisation concrète d'une chose dans sa réalité. Nous voulons des faits concrets, avec un éclairage sur ce qui les rend précieux" (p.230).

Esta frase trouxe à nossa memória duas vivências:

a) Uma observação astronômica numa noite de verão no campo alentejano, com professores do ensino secundário, alunos e um astrônomo. A visão da lua através do telescópio foi uma experiência de textura, nitidamente estética. A lua parecia uma escultura em gesso rendilhado. O conhecimento de uma lua muito árida, com as suas crateras, em nada diminuiu a nossa emoção. E falávamos dela, uns com os outros, o que dava uma intensidade especial à nossa experiência.

b) Um dia, uma pessoa, de 70 anos, trabalhador rural sem qualquer instrução no domínio científico, ouvia, atentamente, a explicação do ciclo da água dada na televisão. No fim exclamou: “como a natureza é bela!”. Evidentemente, ele não substituiu a sua relação com as nuvens e com a chuva pelo modelo científico (que para ele não era um modelo) com o qual acabava de contactar. Este tinha o valor de dar mais intensidade às suas vivências. Era a emoção de alguém que estava perante um novo “éclairage” que tornava a sua experiência ainda mais preciosa. Nas aulas de física que temos observado, raramente se proporcionam experiências similares.

Whitehead facultou-nos elementos que nos permitem dar relevo à questão: qual o lugar do belo num curso de ciências?

Vimos anteriormente como Vygotsky afirmava que o conhecimento frio e seco não permanece na nossa memória. Infelizmente, os manuais escolares científicos são, usualmente, secos e frios.

Vimos também, com a noção de "flying classroom", como a dimensão artística (imaginação e emoção) é indispensável num processo que pretende deixar marcas na nossa memória.

As conferências de Vygotsky eram exemplares a este respeito, como testemunham alguns discípulos. A sua grande cultura permitia-lhe ser “an integrative thinker”. Valsiner (1993) escreve, a propósito de tais conferências:

“One can encounter long philosophical speculations which turn suddenly into recitations of poetry, or an allusion to a literary symbol. Vygotsky was not afraid of being emotional in his scientific argument” (p.1, The Vygotsky Reader, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Um bom testemunho do fascínio que os seus cursos produziam é o seguinte:

“It is hard to determine what exactly attracted us in the lectures of Lev Semyonovich. Apart from their deep and interesting content we were charmed by his genuine sincerity, the continual striving upwards with which he captivated his listeners, [and] the beautiful literary expression of his thought” (citado por René Van Der Veer e Jean Valsiner, 1993, p.14, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Vygotsky e Whitehead são contemporâneos. É interessante ver como as palavras-chave dos seus respectivos pensamentos são, praticamente, as mesmas, o que testemunha o contexto imaginativo da época. Exemplos de algumas dessas palavras: imaginação, criatividade, evolução, actividade.

A noção de evolução em Whitehead, que contrasta com a noção de luta pela sobrevivência, contém elementos também preciosos em Vygotsky, nomeadamente no que diz respeito à sua noção de desenvolvimento.

Whitehead escreve em *La science et le monde moderne*:

“La lutte pour la survie s’est vue traduite en un chant de haine. La conclusion à tirer de la philosophie de l’évolution est heureusement plus équilibrée. Des organismes qui réussissent modifient leur environnement. Sont couronnés de succès qui modifient leur environnement de manière à s’assister mutuellement” (p.237).

Esta noção constituirá para nós uma ideia orientadora de valorização dos aspectos de criatividade e de cooperação no acto de pensar.

4) O lugar da novidade na aventura do conhecer.

“Les hommes ont besoin que leurs voisins leurs donnent quelque chose d’assez semblable pour qu’ils comprennent, quelque chose d’assez différent pour retenir leur attention, et quelque chose d’assez grand pour susciter leur admiration” (p.239).

A frase anterior de Whitehead (1994) tocou-nos muito pelo seu conteúdo e pela forma poética da sua escrita. Na verdade, como já salientámos, há momentos da escrita do autor que traduzem bem o seu contacto com os poetas. O conteúdo desta frase levou-nos, pelo contraste que estabelece, a pensar alguns aspectos da investigação em didáctica das ciências. Como veremos, o valor do novo é, muitas vezes, escamoteado pela investigação no âmbito do ensino das ciências. Esta parece não ter qualquer interesse em fixar a atenção do outro e muito menos

em suscitar a sua admiração (veja-se como ao longo de mais de vinte anos as problemáticas de investigação se repetem. Remetemos aqui para o artigo de Solomon: “The Rise and Fall of Constructivism”, 1994).

Se nos concentrarmos sobre o livro de Solomon “Getting to know about energy” (1992), na parte correspondente ao ensino do conceito científico de energia, verificaremos que o que conta é aquilo que é mais comum. Quando se fala de cultura está-se a pensar nos significados comuns de determinadas palavras. No que diz respeito à energia, por exemplo, são deixadas de lado referências interessantes, e que poderiam constituir novidade, da utilização da palavra na literatura e nos escritos sobre arte. Esquecer os objectos do mundo que são produtos da cultura é desperdiçar formas de iluminar, com outra intensidade, alguns aspectos da experiência humana. A grande preocupação da autora com o lado definido pela expressão “the child must accept” parece ter como efeito matar todo o interesse em suscitar a sua admiração, como veremos mais adiante. “O homem tem necessidade de algo grande para suscitar a sua admiração”:

"L'humanité a erré des arbres aux plaines, d'un continent à l'autre. Quand l'homme cessera d'errer, il cessera de monter dans l'échelle de l'être. L'errance physique est toujours importante, mais la puissance des aventures spirituelles de l'homme est encore plus grande - aventures de pensée, aventures de sentiments passionnés, aventures d'expérience esthétique" (Whitehead, 1994, p.239, o sublinhado é nosso).

Colocar os jovens em contacto com estas aventuras espirituais poderá mudar algo na educação científica. Isto parece-nos viável utilizando de uma maneira viva a história das ciências.

Algumas reflexões sugeridas pela leitura de “The Aims of Education” (1912-1928, publicado em 1929)

A leitura dos textos incluídos nesta obra foi, mais uma vez, uma fonte de “lure for feeling”. Encontramos já nesta obra a maioria das palavras que serão retomadas ao longo da produção filosófica de Whitehead. Estas palavras, escolhidas muito cuidadosamente, deixam marcas na nossa memória por dizerem a experiência daqueles que estão ligados às problemáticas educativas de uma forma “pertinente e interessante”.

Depois de todo um percurso de investigação na área da educação, contrastante com a época de Whitehead, importa trazer para a ribalta algumas dimensões que se perderam numa cristalização da forma de fazer, essencialmente no que diz respeito à educação científica.

Seria interessante comparar esta obra com o que Bruner escreve (1996) sobre "The Complexity of Educational Aims" (3ºcap. do livro "The Culture of Education"). Embora as épocas sejam diferentes, e podemos sentir essa diferença, há aspectos comuns como o papel central da noção de cultura. E aqui Whitehead é genial ao escrever:

"Culture is activity of thought, and receptiveness to beauty and humane feeling" (p.1).

Esta frase toca-nos profundamente e remete-nos para a importância que Whitehead confere ao estilo. Como ele escreve,

"[the style] is an æsthetic sense, based on admiration for the direct attainment of a foreseen end, simply and without waste. Style in art, style in literature, style in logic, style in practical execution have fundamentally the same æsthetic qualities, namely, attainment and restraint. The love of a subject in itself and for itself (....) is the love of style as manifested in that study" (id., p.12).

O efeito da definição de cultura dada por Whitehead traduz bem as qualidades que este filósofo atribui ao estilo:

"Style, in its finest sense, is the last acquirement of the educated mind; it is also the most useful. It pervades the whole being" (p.12, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Já a definição dada por Bruner não nos toca tanto:

"As some anthropologists like to put it, culture is a toolkit of techniques and procedures for understanding and managing your world" (p.98).

Ela é, no entanto, importante já Bruner pretende contrastar com uma noção estática de cultura:

"as an established, almost irreversibly stabilized way of thinking, believing, acting, judging" (p.97).

Embora a imagem dada pela expressão "toolkit of techniques and procedures" nos sugira algo sem vida própria, o contraste colocado em cena por Bruner é muito importante, nomeadamente para uma crítica à noção de cultura subjacente a muitos dos escritos sobre educação científica. Com efeito, aqueles que têm valorizado a construção de significado na educação científica têm de lidar com uma noção de cultura. Esta aproxima-se, muitas vezes, da noção estática, criticada por Bruner e nada tem em comum com a noção de Whitehead (ver Solomon, onde cultura parece ser aquilo que é comum).

Assim, Bruner aborda a aprendizagem, escrevendo:

"learning in its full complexity involves the creation and negotiation of meaning in a larger culture, and the teacher is the vicar of the culture at large" (p.84).

Whitehead, por seu lado, escreve:

"What we should aim at producing is men who possess both culture and expert knowledge in some special direction. Their expert knowledge will give them the ground to start from, and their culture will lead them as deep as philosophy and as high as art" (p.1).

Bruner, psicólogo, Whitehead, filósofo, terão, necessariamente, interesses diferentes (Bruner mais atento às questões específicas da aprendizagem, Whitehead lutando contra as "ideias inertes", isto é, ideias que "are merely received into the mind without being utilised, or tested, or thrown into fresh combinations", p.1) e estilos diferentes. Parece-nos, no entanto, vislumbrar algumas sensibilidades próximas (a forma, por exemplo, como ligam elementos provenientes de diferentes áreas do conhecimento)¹² e poderíamos fazer da máxima de Whitehead de que um dos problemas centrais da educação é interrogar-se constantemente como manter vivo o conhecimento, uma máxima válida para os dois. Desenvolver meios que permitam realizar este aspecto no ensino do conceito de energia será o nosso problema central.

A necessidade de investigação específica na área da educação é sugerida por Whitehead, nos seguintes termos:

¹²Mesmo se, aparentemente, Bruner não leu Whitehead, ele faz uma utilização interessante dos contrastes. Por exemplo, quando nos põe a pensar sobre a nossa noção de pensar e nos confronta com a representação de Rodin do pensador (figura musculada em bronze) e uma representação japonesa do século VI (figura delicada de madeira).

“We are only just realising that the art and science of education requires a genius and a study of their own; and that this genius and this science are more than a bare knowledge of some branch of science or of literature” (p.4).

O autor reconhece, portanto, a necessidade de um domínio de investigação especial, onde há lugar para as palavras-chave: arte e ciência. Se pensarmos na situação, hoje temos a impressão que, por um lado, a palavra ciência tomou todo o espaço no que diz respeito ao que se faz no âmbito da educação científica, e, por outro lado, os especialistas em educação não souberam inspirar qualquer confiança (veja-se como recentemente os pedagogos foram cruxificados em Portugal – textos da socióloga Filomena Mónica e opinião pública).

E Whitehead continua:

“What education has to impart is an intimate sense for the power of ideas, for the beauty of ideas, and for the structure of ideas, together with a particular body of knowledge which has peculiar reference to the life of the being possessing it” (p.12, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Nesta frase Whitehead faz cooperar aspectos que são fundamentais para uma reflexão sobre a noção de educação científica e permite-nos estabelecer um contraste com a noção subjacente nos escritos de investigação nesta área (manifestamente não se interessam nem pelo poder das ideias, nem pela beleza das ideias).

O que mais nos tocou nesta obra foi a noção de ritmo da educação. Esta noção parece-nos de grande valor em si mesma e, neste sentido, será uma ideia orientadora (construtiva) no desenvolvimento do nosso trabalho, e de grande valor metodológico pelos contrastes que nos permite estabelecer.

Whitehead considerou que todo o gesto educativo deverá integrar um ciclo que passa por três estados: o estado do romance, o estado da precisão e o estado da generalização. Este ritmo deverá ser válido para todas as escalas. Como o autor afirma: “such a cycle is a unit cell, or brick; and the complete stage of growth is an organic structure of such cells” (p.30).

Tanto os pequenos gestos como os grandes gestos incluirão, portanto, estas três fases. Assim, quer se trate de uma aula, quer se trate de todo um curso, o ritmo tem de estar sempre presente, como elemento de vida no acto de ensinar e aprender.

Sobre o estado de romance

O estado de romance é ilustrado, por Whitehead, com uma alegoria:

"Crusoe was a mere man, the sand was mere sand, the footprint was a mere footprint, and the island a mere island, and Europe was the busy world of men. But the sudden perception of the half-disclosed and half-hidden possibilities relating Crusoe and the sand and the footprint and the lonely island secluded from Europe constitutes romance" (p.18).

E explica melhor:

"The stage of romance is the stage of first apprehension. The subject-matter has the vividness of novelty; it holds within itself unexplored connexions with possibilities half-disclosed by glimpses and half-concealed by the wealth of material" (p.18).

Ao que acrescenta:

"romantic emotion is essentially the excitement consequent on the transition from the bare facts to the first realisations of the import of their unexplored relationships" (p.18).

Retomando a experiência da beleza do ciclo da água, história contada anteriormente, vemos bem que se trata do estado de romance. O rio, as nuvens, a chuva eram, de repente, percebidos através de uma ligação meio ambígua e isso produzia a sensação de beleza. A história que Planck nos conta poderá, também, ser encarada como um certo estado de emoção romântica (embora nesta história estejam já presentes alguns ingredientes de precisão):

"C'est ainsi que mon esprit absorba avidement, telle une révélation, la première loi que je sus posséder une validité absolue, universelle, indépendamment de toute entremise humaine: le principe de la conservation de l'énergie. Je n'oublierai jamais l'histoire pittoresque que nous raconta Muller, en pleine forme, du maçon montant avec beaucoup de peine un pesant bloc de pierre sur le toit d'une maison. Le travail qu'il accomplit de la sorte ne sera pas perdu; il demeure en réserve, pendant de nombreuses années peut-être, entier et caché dans le bloc de pierre, jusqu'à ce qu'un jour ce bloc se détache peut-être et tombe sur la tête d'un passant" (1991, p.68).

Esta história traduz já aquilo que Whitehead (1948) designa por “delight in generalizations” (p.146) e permite-nos evidenciar um dos efeitos da educação científica muito valorizado por Whitehead (1948): uma modificação do carácter. Em que consiste esta modificação?

“[The science education] should elicit the habit of first-hand observation, and should train the pupil to relate general ideas to immediate perceptions, and thereby obtain exactness of observation and fruitfulness of thought. I repeat that primarily this acquirement is not an access of knowledge but a modification of character by the impress of habit. Literary people have a way of relegating science to the category of useful knowledge, and of conceiving the impress on character as gained from literature alone” (p.143).

O texto de Whitehead continua explorando este aspecto como um efeito do exercício da imaginação:

“If we are finally to sum up in one phrase the peculiar impress on character to be obtained from a scientific training, I would say that it is a certain type of instinctive direction in thought and observation of nature, and a facility of imagination in respect to the objects thus contemplated, issuing in a stimulus towards creativeness” (id., p.144).

Toda esta caracterização corresponde já à fase de generalização, que como refere Whitehead é também uma fase de romance mas já enriquecida com a precisão.

Sobre o estado de precisão

O estado de precisão corresponde à aprendizagem de uma “gramática”. Mas atenção, diz Whitehead, “a stage of precision is barren without a previous stage of romance” (p.18). Mais tarde, numa outra conferência, acrescentará:

“There is no comprehension apart from romance. (...) Without the adventure of romance, at the best you get inert knowledge without initiative, and at the worst you get contempt of ideas – without knowledge” (p.33).

O estado de precisão será desenvolvido na escola mas este estado será inútil se esquecer o valor do estado de romance. A precisão impõe um pensamento disciplinado. O romance prepara a capacidade de apreciação desta fase. A precisão tem de se fazer desejada:

"Now is the time for pushing on, for knowing the subject exactly, and for retaining in memory its salient features. This is the stage of precision. This stage is the sole stage of learning in the traditional scheme of education, either at school or university. You had to learn your subject, and there was nothing more to be said on the topic of education" (p.34).

Infelizmente, esta situação mantém-se, mesmo se toma outras formas. Isso será visível quando abordarmos a investigação sobre o ensino/aprendizagem do conceito de energia.

Mais adiante, podemos ler:

"[During the stage of precision] romance is not dead, and it is the art of teaching to foster it amidst definite application to appointed task. It must be fostered for one reason, because romance is after all a necessary ingredient of that balanced wisdom which is the goal to be attained. But there is another reason: the organism will not absorb the fruits of the task unless its powers of apprehension are kept fresh by romance. The real point is to discover in practice that exact balance between freedom and discipline" (p.35).

Como fazer para manter viva a chama do romance é, do nosso ponto de vista, um problema que deveria interessar a investigação. Os exemplos que Whitehead apresenta centram-se no realce que se dá ao "poder" de um conceito, de um argumento, de uma expressão. A dificuldade está em que este aspecto realiza-se muito mais rapidamente do que o tempo, por vezes excessivamente longo, que toma a precisão. Com efeito, Whitehead escreve:

"the emphasis on the beauty of a mathematical argument, in its marshalling of general considerations to unravel complex fact, is the speediest mode of procedure. The responsibility of the teacher at this stage is immense. To speak the truth, except in the rare case of genius in the teacher, I do not think that it is possible to take a whole class very far along the road of precision without some dulling of the interest. It is the unfortunate dilemma that initiative and training are both necessary, and that training is apt to kill initiative" (p.35).

Não sendo razoável esperar do professor um comportamento de super-homem ou super-mulher, torna-se necessário fabricar os instrumentos que lhe permitam cumprir a sua dupla função. Isso o expressa bem Whitehead, do seguinte modo:

"It is for him to elicit the enthusiasm by resonance from his own personality, and create the environment of a larger knowledge and a firmer purpose" (p.40).

Este entusiasmo, que se quer tradutor de uma vivência pessoal, terá de ser o resultado da ligação do professor às temáticas que ensina. Mais uma vez encontramos o eco das palavras de Deleuze. É aqui que nos situamos, tendo presente que:

"The ultimate motive power, alike in science, in morality, and in religion, is the sense of value, the sense of importance. It takes the various forms of wonder, of curiosity, of reverence, or worship, of tumultuous desire for merging personality in something beyond itself" (p.40, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Este sentido da importância não é algo dado à partida, essencialmente no que diz respeito à educação científica, como algumas abordagens parecem crer, ao subordinarem todo o ensino ao significado imediato que o aluno lhe possa atribuir.

Sobre o estado de generalização

O estado de generalização é, como diz Whitehead:

"a return to romanticism with added advantage of classified ideas and relevant technique. It is the fruition which has been the goal of the precise training" (p.19, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

É o estado vivido por aqueles que contam Vygotsky. É o estado que viveu William James durante a participação num curso de Mach. Whitehead insiste muito na fruição que caracteriza o estado de generalização, aspecto substancialmente ignorado no ensino da física.

A leitura da Popular Scientific Lecture de Helmholtz sobre a conservação da energia dá-nos a saborear estes três estados de uma forma clara, como veremos mais adiante.

Whitehead acrescenta que, no estado de generalização,

"[the pupil] relapses into the discursive adventures of the romantic stage, with the advantage that mind is now a disciplined regiment instead of a rabble. In this sense, education should begin in research and end in research" (p.37).

A palavra "research" refere-se à procura de ligações pertinentes e interessantes, ou seja, ao desenvolvimento de significações.

Não resistimos a deixar aqui o testemunho de Whitehead relativamente ao ensino universitário, que nos parece ser de grande pertinência hoje:

"In my own work at universities I have been much struck by the paralysis of thought induced in pupils by the aimless accumulation of precise knowledge, inert and unutilised. It should be the chief aim of a university professor to exhibit himself in his true character - that is, as an ignorant man thinking, actively utilising his small share of knowledge" (p.37).

Embora a universidade esteja, hoje, organizada da forma que Whitehead valorizava - ela é a sede de ensino e de investigação - não parece, contudo, realizar as expectativas deste filósofo. O equilíbrio preconizado por Whitehead entre educação e investigação está completamente viciado por uma carreira que apenas parece valorizar a investigação. Relembremos o que dizia Whitehead:

"It is in respect to the provision and utilisation of these conditions for an efficient faculty that the two functions of education and research meet together in a university. Do you want your teachers to be imaginative? Then encourage them to research. Do you want your researchers to be imaginative? Then bring them into intellectual sympathy with the young at the most eager, imaginative period of life, when intellects are just entering upon their mature discipline. Make your researchers explain themselves to active minds, plastic and with the world before them; make your young students crown their period of intellectual acquisition by some contact with minds gifted with experience of intellectual adventure. Education is discipline for the adventure of life; research is intellectual adventure; and the universities should be homes of adventure shared in common by young and old" (p.97, 98).

Este ideal de trazer a imaginação ao seio da aprendizagem parece comprometido, na maioria do ensino universitário, não só pela razão apontada anteriormente mas também pelo facto de que os jovens vão perdendo pelo caminho todo o entusiasmo e interesse, nomeadamente no que diz respeito à sua educação científica. Whitehead escreve que "in the past the methods employed assassinated interest" (p.36); ora, hoje, podemos dizer que o interesse tem sido "assassinado", no que respeita ao ensino da física, e que as problemáticas de investigação não parecem interessadas por esta questão.

Os professores são educados numa universidade incapaz de dar vida ao pensamento. Estamos muito longe da atmosfera idealizada por Whitehead:

"This atmosphere of excitement, arising from imaginative consideration, transforms knowledge. A fact is no longer a bare fact: it is invested with all its possibilities. It is no longer a burden on the memory: it is energising as the poet of our dreams, and as the architect of our purposes" (p.93, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Tem havido uma certa negligência sobre a função educativa da universidade. Os efeitos desta negligência serão ainda mais nefastos no que diz respeito à formação de professores. A universidade parece incapaz de proporcionar experiências de fruição do conhecimento.

Mais tarde, em "Processo e Realidade", Whitehead vai retomar a palavra generalização para criar a noção de "generalisation imaginative", noção tomada a partir das ciências naturais, para protestar contra um método que limita o pensamento à estrita sistematização da discriminação minuciosa (p.47).

Quando Whitehead falava da fase de generalização (The Aims of Education) referia-se, como vimos, a uma prática imaginativa, com toda a emoção que lhe é inerente, com um passado de exercício do pensamento disciplinado. Com a noção "generalização imaginativa" Whitehead reforça ainda mais o carácter fundamental da imaginação.

A física escolar parece-nos incorporar essencialmente este método subjugador do pensamento, de que nos fala este filósofo, o que a afasta completamente da actividade imaginativa, aspecto fundamental do pensamento científico. Daí o profundo contraste entre o sucesso da investigação científica e as permanentes "crises" da educação científica.

E Whitehead continua:

"Ce que Bacon a omis, c'est le jeu d'une imagination libre, contrôlé par les exigences de cohérence et de logique. La vraie méthode de la découverte est semblable au vol d'un avion. Elle part du terrain de l'observation particulière, accomplit un vol dans l'air éthéré de la généralisation imaginative et atterrit de nouveau pour une observation renouvelée que l'interprétation rationnelle a rendue pénétrante" (p.48).

Outros aspectos relevantes

Num dos textos finais incluídos em *The Aims of Education*, Whitehead aborda uma questão que nos parece essencial para alguns contrastes que pretendemos colocar em evidência:

"Judgements of worth are no part of the texture of physical science, but they are part of the motive of its production. Mankind have raised the edifice of science, because they have judged it worth while. In other words, the motives involve innumerable judgments of value. Again, there has been conscious selection of the parts of the scientific field to be cultivated, and this conscious selection involves judgments of value. These values may be æsthetic, or moral, or utilitarian, namely, judgments as to the beauty of the structure, or as the duty of exploring the truth, or as to utility in the satisfaction of physical wants. But whatever the motive, without judgments of value there would have been no science" (p.151, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Como podemos, então, esperar dos alunos um comportamento que nem para os cientistas é possível? A ligação do cientista com o seu objecto pode tomar variadíssimas formas mas o que importa é que ela exista; sem esse laço a ciência não seria possível. Do mesmo modo; a física escolar não pode viver se não existirem laços, a começar pelos vínculos que deverão transparecer no professor.

Para além dos juízos de valor que fomentam os laços de que falámos, há também a considerar o prazer da actividade intelectual do cientista:

"inventive genius requires pleasurable mental activity as a condition for its vigorous exercise. «Necessity is the mother of invention» is a silly proverb. «Necessity is the mother of futile dodges» is much nearer to the truth. The basis of the growth of modern invention is science, and science is almost wholly the outgrowth of pleasurable intellectual curiosity" (p.45).

Aqui, Whitehead toca um aspecto a que somos muito sensíveis, pois a organização da ciência escolar não dá espaço para a fruição intelectual. Para isso é preciso dar relevância à arte de pensar:

"in the teaching of science, the art of thought should be taught: namely, the art of forming clear conceptions applying to first-hand experience, the art of diving the general truths

which apply, the art of testing divinations, and the art of utilising general truths by reasoning to more particular cases of some peculiar importance" (Whitehead, 1967, p.52).

A história do desenvolvimento do conceito de energia é muito rica em situações que permitem colocar em evidência toda esta arte de pensamento. O prazer intelectual é exibido, por exemplo, na história que Planck nos conta relativamente ao seu primeiro contacto com a conservação de energia.

Da física escolar está ausente a dimensão estética que corresponderia a:

“savoir jouir à propos d’une théorie ou d’une machine bien faite qui s’adapte à une situation” (Fourez, p.3).

Whitehead valoriza a formulação de conceitos contrastando com aqueles que defendem que à ciência apenas importa a formulação de leis. E um dos conceitos que ele valoriza é o conceito de energia:

"At the stage where we now are, the formulation of the concepts can be seen to be as important as the formulation of the empirical laws connecting the events in the universe as thus conceived by us. For example, the concepts of life, of heredity, of a material body, of a molecule, of an atom, of an electron, of energy, of space, of time, of quantity, and of number. I am not dogmatising about the way of getting such ideas straight. Certainly it will only be done by those who have devoted themselves to a peacial study of the facts in question" (p.105).

Do ponto de vista de Whitehead, a valorização dos conceitos emerge na constatação da variação do seu significado e do seu valor, por vezes violenta, à medida que se vão formulando novas leis. Este aspecto será exibido no desenvolvimento que faremos do conceito de energia.

Whitehead define a ciência como "the thought organisation of experience". Com esta frase pretende, por um lado, colocar em evidência o facto de que não se trata de uma qualquer organização do pensar (a experiência é o ponto de partida e o ponto de chegada), e, por outro lado, exhibe a dimensão da actividade de pensar, que é uma actividade rica e abstracta. O perigo está na confusão que se estabelece entre o mundo exacto do pensamento científico, que é um mundo de ideias, e a experiência que podemos ter do mundo. E dizemos perigo porque, como o autor dizia, "rien ne remplace la perception directe de la réalisation concrète d'une chose

dans sa réalité" e uma abordagem da ciência que não exiba esta diferença está a fazer o reconhecimento autoritário do conhecimento científico. Ou como, escreve Varela (1993),

"nous souhaitons simplement souligner la profonde tension qui oppose, dans le monde actuel, la science et l'expérience. Dans le monde contemporain, la science est tellement dominante que nous lui conférons une autorité explicative même quand elle nie ce qui nous est le plus immédiat et le plus proche - notre expérience quotidienne, immédiate" (p.39).

Whitehead põe em evidência a textura lógica, entendida no sentido moderno, da ciência. Sem entrarmos em grandes detalhes sobre esta questão, deixamos aqui uma imagem que este filósofo utiliza para ilustrar a sua noção de lógica:

"We may conceive humanity as engaged in an internecine conflict between youth and age. Youth is not defined by years but by the creative impulse to make something. The aged are those who, before all things, desire not to make a mistake. Logic is the olive branch from the old to the young, the wand which in the hands of youth has the magic property of creating science" (p.119).

A dimensão criativa e imaginativa e a dimensão da experiência são aspectos da ciência que Whitehead não se cansa de destacar, por exemplo, quando escreve:

"I now emphasise two points. In the first place, science is rooted in what I have just called the whole apparatus of commonsense thought. That is the datum from which it starts, and to which it must recur.

(...)

In the second place, neither commonsense nor science can proceed with their task of thought organisation without departing in some respect from the strict consideration of what is actual in experience" (p.107).

E acrescenta, mais adiante:

"This imaginative perception of experiences, which, if they occurred, would be coherent with our actual experiences, seems fundamental in our lives. It is neither wholly arbitrary, nor yet fully determined. It is a vague background which is only made in part definite by isolated activities of thought. Consider, for example, our thoughts of the unseen flora of Brazil" (p.107).

Todos estes aspectos representam para nós instrumentos importantes e pertinentes para pensar a noção de educação científica. Por exemplo, esta última ideia de que é necessário o afastamento do que é estritamente actual na nossa experiência para que o pensamento se realize permite-nos contrastar com algumas abordagens que se fixam e se asfixiam na componente estritamente actual da experiência, no que diz respeito ao ensino da física. Por vezes a grande preocupação com a significação acaba por traduzir-se no desprezo pela percepção imaginativa da experiência.

Não esqueçamos, contudo, que Whitehead valoriza as "appréhensions concrètes". A educação científica não pode fazer a economia deste aspecto; pelo contrário, tem de ser capaz de lhe dar o relevo adequado:

"Dans le jardin d'Éden, Adam vit les animaux avant de les nommer; dans le système [educatif] traditionnel, les enfants nomment les animaux avant de les voir" (Whitehead, 1994, p.229).

Whitehead, com o seu fascínio pelos poetas, fez-nos herdeiros de expressões poéticas que nos afectam e nos orientam. É interessante ver como, ao longo da sua obra, a palavra energia é muito utilizada. Esta ênfase tem uma raiz no seu contacto com o conhecimento científico (na noção e no seu valor para destronar a matéria: "la conservation de l'énergie fournissait un type nouveau de permanence quantitative" p.126, *La science et le Monde Moderne*) mas principalmente no seu contacto com a poesia dos românticos, com a valorização da ideia de fluxo transformador, de actividade interior.

Tal como a noção de energia, também a noção de vida ocupa um lugar importante no pensamento deste filósofo. A maioria dos aspectos a que nos referimos são por ele sintetizados, de forma artística, na frase:

"There is only one subject-matter for education, and that is Life in all its manifestations" (p.7, em *The aims of education*).

Que contributos pode a investigação dar para uma noção viva de educação científica será uma questão sempre presente no desenvolvimento da nossa investigação. Esta questão emerge, de forma necessária, de um contacto com um domínio de investigação (referimo-nos à investigação sobre o ensino de conceitos físicos) em que os problemas e os métodos se repetem mortíferamente.

1.5 A importância da História e da Filosofia das Ciências nas problemáticas educativas

"Les récits ouvrent l'appétit des jeunes enfants"

I. Stengers, entrevista ao Magazine Illustré Le Soir, 3 de Abril de 1997.

A noção de História das Ciências

"l'histoire humaine de la nature mérite d'être racontée de plus d'une façon"

F. Varela em *Connaître*

Ao abordar esta questão, não podemos deixar de evocar alguns textos incluídos na obra "Elementos de História das Ciências", coordenada por Michel Serres, que foram, para nós, muito marcantes no que diz respeito ao questionamento de algumas noções de história das ciências. Referimo-nos essencialmente aos artigos de Isabelle Stengers e de Bruno Latour, e a alguns textos de Michel Serres.

Há artigos, e é o caso, com os quais estabelecemos relações privilegiadas, seja pela adesão a uma estética da escrita, seja pela qualidade das significações que eles mobilizam.

Como muito bem diz Fátima Mernissi¹³ (escritora e socióloga marroquina) quando colocamos uma questão a confusão aumenta, isto é, provocamos uma certa desestabilização. É este o efeito pretendido com esta breve discussão.

Com a obra em questão podemos saborear diferentes formas de fazer história das ciências, e a recusa geral a uma "exposição falsamente transparente da enciclopédia completa das ciências ao longo do curso global de toda a história" (Michel Serres, 1995, p.12).

Uma ideia chave no desenvolvimento desta obra está contida na expressão "história múltipla das ciências". Se, como diz Michel Serres, a história das ciências começa "comme autrefois la lecture des textes sacrés, par une critique", o seu desenvolvimento está muito para além da

¹³ "Sonhos Proibidos – memórias de um harém em Fez", Ed. Asa, 1998.

crítica. Ela é produtora de ligações muitas vezes inesperadas. Ela é, como diz Latour, “construção”.

Muitos de nós tivemos os nossos primeiros contactos com a história das ciências através dos manuais escolares científicos. Este contacto vai enformando em nós uma certa ideia de história das ciências, que, como vimos com Langevin, não é mais que um repositório de factos e datas, pouco tendo a ver com a forma viva como a ciência se vai construindo. Bruno Latour (ver data) caracteriza-a da seguinte forma:

"J'appellerai cette histoire, presque entièrement dénuée d'historicité, l'*histoire-découverte* parce qu'elle n'a d'autre effet que d'avancer ou de retarder la *date* à laquelle un phénomène toujours déjà là est porté par le savant à la connaissance des hommes. C'est cette histoire qui sert à établir les chronologies au début de certains manuels scientifiques ou qui passe encore pour l'histoire dans certains milieux (...). Perles enfilées dans les nécrologies sans qu'il y ait d'histoire à raconter" (p.430).

O mesmo autor faz uma abordagem a várias aproximações à história das ciências - através do estudo da controvérsia entre Pasteur e Pouchet sobre a existência de geração espontânea - culminando com a *história-construção*, ou, como ele diz, “l'histoire tout court”.

De uma maneira geral poderemos dizer que, na cultura de grande parte das pessoas, predomina uma versão “ahistórica” da história das ciências. O que quer isto dizer? Esta questão é muito recorrente na obra de I. Stengers (1993):

“Les sciences donnent souvent l'impression d'une entreprise «anhistorique». Si Beethoven était mort au berceau, ses symphonies n'auraient pas vu le jour. En revanche, si Newton était mort à quinze ans, un autre, à sa place... Cette différence renvoie évidemment en partie à la stabilité de certains problèmes, en l'occurrence à la régularité observable des mouvements célestes dont la question était sans doute capable d'insister. Elle n'est, par ailleurs, pas aussi générale que l'on peut penser. Ainsi, je crois pouvoir affirmer que si Carnot était mort au berceau, la thermodynamique ne serait pas ce qu'elle est. Mais l'impression d'anhistoricité est néanmoins une singularité de l'histoire des sciences qui contribue à expliquer pourquoi, jusqu'ici, elle a été assez peu fréquentée par les historiens professionnels” (p.49, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Não cabe agora aqui discutir porque é que Carnot é considerado único, porque é que sem ele a termodinâmica seria outra (aspecto que será focado quando explorarmos o pensamento de

Mach), mas apenas sublinhar que no desenvolvimento das ciências há também lugar para o contingente, embora a impressão de “anhistoricité” seja de relevar já que remete para a singularidade das ciências.

A testemunhar a contingência temos o artigo de B. Latour sobre a referida controvérsia entre Pasteur e Pouchet, “le cours des choses, le cours des sciences auraient pu être différent” (p.439).

Esta questão, que apenas parece ter significação se referida à história das ciências, não é única. A célebre divisão entre história internalista e externalista, na história das ciências, também poderá “permitir uma nova aproximação à singularidade das ciências”¹⁴ (Stengers, 1993, p.50). Assim, a singularidade das ciências emerge nos problemas específicos que coloca à história das ciências.

A esta diferenciação entre história internalista e externalista, correspondente a um modelo de separação e afastamento entre dois campos bem definidos, o núcleo duro e o contexto, opõe Bruno Latour uma *história social das ciências*¹⁵. A história externalista “s’occuperait plus proprement de politique, de droit, d’économie, d’institutions et de passions”. A história internalista ocupar-se-ia “plus proprement d’idées, de principes, de connaissances ou de procédés” (p.495). Este modelo leva, como diz Latour, a uma partição entre actores humanos e actores não humanos, ocupando-se os historiadores dos primeiros e os cientistas e os filósofos da ciência dos segundos. A *história social das ciências* é “le projet intellectuel qui a pour but de résister à cette partition” (p.496). Resistir a esta partição corresponde a aceitar o risco do aparecimento, muitas vezes inesperado, de ligações heterogéneas. Um historiador das ciências não pode *a priori* estabelecer fronteiras rígidas para a sua acção:

“Pas d’histoire générale compréhensible sans que l’historien accepte de suivre tous les contenus scientifiques et techniques qui se sont rendus indispensables au déroulement de cette histoire; pas d’histoire des sciences sans que l’historien ne retrouve la multiplicité des acteurs, des ressources et des enjeux auxquels elle s’est mêlée” (p.503).

Mais adiante, Latour continua:

¹⁴ A este respeito diz I. Stengers: “Quel autre champ susciterait l’idée d’une division de ce genre, entre l’histoire propre des productions scientifiques d’un côté et, de l’autre, celle des institutions, des relations des scientifiques avec leur milieu, des contraintes ou des opportunités sociales, économiques, institutionnelles, affectant un champ scientifique à telle ou telle époque? On peut certes poser pour principe que les sciences doivent, comme toute autre pratique humaine, être mises en histoire, et qu’il ne peut exister, de ce point de vue, ni compromis ni demi-mesure. Mais cet idéal légitime ne permet pas de faire l’économie du problème: pourquoi cette mise en histoire ne va-t-elle pas sans dire?” (p.49, o sublinhado é da nossa inteira responsabilidade).

“les contenus techniques ne sont pas des mystères étonnants placés par les dieux sous les pas des historiens à seule fin de les humilier en leur rappelant l’existence d’un autre monde, un monde qui échapperait à l’histoire; ils ne sont pas non plus offerts aux épistémologues aux seules fins de les aider à mépriser ceux qui ignorent les sciences. Ils font partie de ce monde. Ils n’y croissent que parce qu’ils le composent en partie” (p.506, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Qual a relação entre a já referida *história-construção* e a *história social das ciências* ? Em última análise correspondem ao mesmo tipo de aproximação à história das ciências que é, como diz Latour, a história *tout court*. Mas estas duas expressões nascem em dois contextos diferentes. A primeira nasce a partir da discussão em torno da historicidade da história das ciências, em torno da questão da temporalidade dos dados, enquanto que a segunda nasce em torno da discussão sobre uma separação de espaços de investigação.

A história-construção situa-se entre uma história-descoberta e uma história-invenção. Este aspecto pode ser clarificado com um pequeno excerto do texto de Latour:

“Pasteur a-t-il découvert les microbes? Mais non, puisqu’il les a formés. Quoi? Il les aurait inventés de toutes pièces par son conservatisme, ses préjugés, ses théories? Mais non, parce que les microbes l’ont formé lui, sa carrière, son conservatisme, son Empire libéral et ses vases à col de cygne” (p.444).

Ou seja, a história-construção situa-se para além de uma história-descoberta, que dá o papel principal aos actores não humanos, e para além de uma história-invenção que, por sua vez, põe a tónica nos actores humanos. Na história construção os actores humanos e não humanos estão em relação e em transformação mútua. Ou seja, como diria Latour, se na história de Pasteur há o “seu” fermento, na história do fermento há o “seu” Pasteur. Os dois, Pasteur e fermento, saem modificados do processo em questão. No seu livro “Petite réflexion sur le culte modernes des dieux faitiches” (1996), Bruno Latour designa por «faitiches» “ces êtres que nous, [les scientifiques] fabriquons et nous fabriquons” (palavras de I. Stengers, cosmopolitiques 1, p.42).

No âmbito desta questão - a noção de história das ciências - não poderemos deixar de abordar os aspectos da neutralidade, da objectividade, da precisão em história das ciências, tão preciosos para os epistemólogos. Isabelle Stengers aborda estas questões de uma forma genial

¹⁵ Veja-se a este respeito o artigo “Joliot: l’histoire et la physique mêlées”, em *Éléments d’histoire des sciences*

no seu artigo “Os casos Galileu”. Ela vai comparar os problemas de representação do real com os problemas das descrições que os historiadores fazem das situações históricas concretas, utilizando um exemplo dado por Jean Perrin no seu livro *Les Atomes*: a relação entre um mapa e a costa real representada por ele. Nesta representação estar-se-á cada vez mais próximo do real quanto mais fina for a escala; no entanto, haverá sempre uma grande diferença entre o mapa e o real.

Pergunta-se I. Stengers:

“Será que o contraste estabelecido por Perrin também é válido para a relação estabelecida entre uma situação histórica concreta e as descrições que dela fazem os historiadores?”¹⁶.

Ao que responde:

“Impõe-se desde logo, uma primeira distinção: o recorte convencional ao qual corresponde a descrição do historiador não pode ser caracterizado em termos tão simples como é o grau de ampliação. Exploraremos aqui múltiplos «casos Galileu» e esta multiplicidade traduzirá menos o seu grau de precisão ou de resolução do que os pontos de vista heterogêneos dos historiadores e filósofos que os narram.

“Devemos então concluir que as narrativas são inferiores aos mapas de Perrin, que aqui o real é inacessível não só porque os seus pormenores podem ser observados até ao infinito mas também em função dos preconceitos daqueles que o descrevem? Gostaria de mostrar que o *interesse* que apresenta o caso Galileu para cada um dos que o interrogam não pode ser comparado a um *écran* que mascaria a verdade e nada nos desse a contemplar, a não ser projecções subjectivas. Decerto, existem relações polémicas entre diferentes versões, e os que as apresentam poderão acreditar que a sua verdade ofusca todas as outras. Contudo, nenhuma de entre elas pode ser assimilada como sendo «a» versão verdadeiramente neutra, desinteressada, do «caso». (...).

“Cada um dos casos Galileu aqui apresentados poderá, nesse sentido, ser comparado a uma reacção química. É o interesse do historiador, ou do filósofo, pela cartada que arrisca neste caso e que, nesta comparação, desempenha o papel de reagente. Interesse que relaciona o passado e o presente não é um obstáculo, mas sim um operador que suscita activamente novas perspectivas, que levanta problemas interessantes, construindo narrativas cujas divergências dão relevo ao passado, tal como a multiplicidade das possibilidades de reacção confere a sua identidade a um corpo químico” (p.37-38, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

¹⁶ Stengers, I.; “Os casos Galileu” em Elementos de História das Ciências, Ed. Terramar, 2ºvol., 1996, p.37.

Este relevo do passado esculpido através de narrativas divergentes, este levantar de problemas interessantes, foram ideias chave para o desenvolvimento da nossa relação com a história das ciências.

A obra antes referida, na sua versão original, faz algumas incursões à pintura, que infelizmente são omitidas na versão portuguesa. Queremos aqui relevar este facto porque não nos parece tratar-se de um aspecto acessório no desenvolvimento deste livro. Tais dimensões reflectem, pensamos, aspectos fundamentais do espírito da obra. Como afirma Michel Serres:

“Je n’ai jamais cessé de chercher la beauté. Souvent le beau est l’éclat du vrai, presque son texte”.

Até porque “a história humana da natureza merece ser contada de mais que uma maneira”.

A "aproximação" entre a História e a Filosofia das Ciências e a Educação Científica: que investigação?

Como refere Matthews (1994), nos últimos anos tem-se verificado uma certa aproximação da educação científica à história e à filosofia das ciências (p.1). Matthews tem desempenhado um papel importante nesta aproximação, nomeadamente com a criação da revista anteriormente referida que valoriza este tipo de aproximação.

Esta aproximação tem, por outro lado, sido alvo de grande criticismo, especialmente por parte de alguns historiadores da ciência.

Kragh (1986) - num artigo intitulado "Physics and History: noble lies or immoral truths? - toma como ponto de partida um artigo de S. Brush, de 1974, em que este defende que a história da ciência é, muitas vezes, subversiva para a educação científica. A confirmar esta ideia, escreve Kragh:

"It is a fact that a large part of the development of science has not taken place in accordance with the established rules we want our students to adopt" (p.71).

Mais adiante, explicita que o autêntico ensino da história da ciência faz correr o risco "that some students may be utterly confused and lose their faith in the authority of the textbook" (p.71). Toda a crítica que este autor desenvolve tem uma raiz nas suas noções de educação

científica e de história da ciência, muito afastadas das perspectivas que temos vindo a desenvolver. No entanto, este artigo põe problemas importantes, particularmente quando discute o problema das fontes. A autora põe, com efeito, a questão de saber para que fontes se deve o professor voltar "to obtain reliable historical information" (p.75).

Relativamente a este aspecto, escreve:

"To go to the primary sources may sometime be recommendable, but far from always. Original research papers do not necessarily reflect historical realities and are, by themselves, of no historical value. Like other primary sources they have to be selected carefully, to be checked with other sources, to be interpreted, etc., in short to be subjected to historical criticism. This is not only a very time-consuming work but also the average physics teacher does not possess the historical training and scholarship which is necessary for source criticism" (p.75).

E conclui mais adiante:

"The easiest and usually the best way is to look things up in secondary sources, that is histories of physics written by good historians of science. After all, one of the functions of historians of science is to mediate their knowledge, obtained by scrutinizing the primary sources, to teachers of physics in the form of easily accessible secondary sources" (p.75).

Na verdade, este tipo de investigação histórica requer muito tempo e merecerá ser encarado como uma área nobre da investigação no âmbito do ensino das ciências. Contrariamente a Kragh, não remetemos apenas para os historiadores das ciências este tipo de investigação. Os interesses que se jogam no ensino das ciências são, muitas vezes, estranhos aos historiadores. Estes, ao caírem na tentação de recriarem uma história aplicável ao ensino, podem cair, eles próprios, numa certa forma de reducionismo - aspecto tão fortemente criticado pelos historiadores das ciências, na utilização da história das ciências em contextos educativos – exercido com a autoridade que o estatuto de historiador das ciências lhes permite.

Ilustremos este aspecto com a referência a um exemplo concreto. Num artigo de Bevilacqua, historiador da Física, interessado pelos problemas do ensino da Física, encontramos a seguinte frase:

"Planck's opinion was completely different. Outlining a deep physical, and not mathematical, analysis of the principle, in 1908, in the second edition of his «Das Prinzip der Erhaltung der Energie», he made clear that:

«...the principle of energy is not a tautology, nor a postulate and not even an a priori judgement, but an experimental principle» (p.45, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Ora, a citada obra de Planck, por sinal muito interessante, foi escrita no início da sua carreira (1887), época em que Planck estava ainda muito influenciado pelo pensamento de Mach. Mesmo se Bevilacqua está a utilizar uma edição de 1908, o texto manteve-se praticamente o mesmo. Mais tarde, Planck vai defender, como veremos, que o conceito de energia é um conceito abstracto, embora tradutor de uma realidade física. Num texto posterior (“Leçons de Thermodynamique”) (1897), Planck volta a apresentar a energia como um conceito experimental, que mantém em edições posteriores, mas aí percebemos que o faz por razões pedagógicas.

A intervenção de Bevilacqua é muito importante no campo pedagógico pelo contraste que permite estabelecer com a ideia, apenas formal, da noção de energia, ideia mais generalizada no âmbito do ensino desse conceito.

No entanto, pensamos que toda a evolução do pensamento de Planck, no que se refere às noções de energia e de entropia, merece ser pedagogicamente valorizada e que “fixá-lo” através de uma das suas obras lhe retira todo o movimento, toda a ligação a uma “visão do mundo” físico, aspectos de grande relevância.

Um outro efeito da limitação dos teóricos do ensino das ciências às fontes secundárias poderá ser colocado em evidência recorrendo a um outro exemplo. Estamos, agora, perante um percurso inverso do exemplo anterior. Trata-se de uma teórica da educação científica, Joan Solomon, que, em determinados contextos – excluídos os contextos do ensino/aprendizagem da noção física de energia – faz algumas incursões históricas, influenciada pelos escritos de Elkana. Refira-se que este autor influenciou muito o nosso trabalho anterior e que consideramos o seu pensamento valioso para a problemática do ensino da energia. No entanto, se formos apenas orientados por este autor, cujo trabalho sobre a história da energia é o resultado de um determinado interesse, corremos o risco de falhar aquilo que é, pedagogicamente, mais revelante. Com efeito, Solomon apenas faz a incursão a um texto de divulgação de Helmholtz (influência nítida de Elkana que defende que foi Helmholtz o construtor da noção de energia). Joule tem, por exemplo, um texto de divulgação muito bonito sobre esta temática que poderia ser valorizado em contextos de formação e que é ignorado pela autora.

Um outro problema que merece ser referido é a questão das retrospectivas históricas escritas pelos próprios intervenientes do processo. Kragh (1986) coloca-o da seguinte forma:

“Finally a word about the autobiographical, historical or retrospective accounts given by the great physicists themselves. Scientists are, as a rule with very few exceptions, bad historians. Their accounts, even when dealing with their own contributions, are biased and unreliable; they are often interesting and enjoyable reading but just should not be consulted if one wants reliable historical information” (p.76).

E Kragh termina este artigo afirmando: “Scientific authority does not guarantee historical authority”, ao que nós acrescentaríamos: “historical authority does not guarantee science education authority”.

Com efeito, Kragh coloca-se do ponto de vista do historiador da ciência desvalorizando aspectos destes textos que são para nós valiosos. Na verdade, poderíamos dizer que esta é a nossa grande diferença relativamente aos historiadores. Estes textos, quanto a nós, podem merecer uma atenção especial: pela clareza conceptual que apresentam; pelas formas narrativas; pelo envolvimento que deixam transparecer do autor com a temática; pela forma interessante como colocam o problema, etc..

Embora tenhamos dado relevo à tensão, colocada em cena por Kragh, na relação entre história da ciência e educação científica, convém reforçar que esta autora defende a introdução da perspectiva histórica no ensino da física. Com efeito, ela começa o artigo “A sense of History: History of Science and the teaching of Introductory Quantum Theory” (1992), afirmando:

“This paper argues that some kind of historical perspective is a *conditio sine qua non* in the teaching of physics. Without a proper historical perspective the student will not experience physics as the living, human endeavour it is; in addition, the historical exemplaric approach is often beneficial also to the technical and conceptual aspects of physics education by offering a deeper and more critical look at particular physical problems” (p.349).

Tal como já tínhamos visto com Langevin, a história da ciência pode ser utilizada de muitas maneiras, inclusive para veicular «the standard view» da ciência, que Kragh define como:

“The view that science is ahistorical; that scientific knowledge progresses by a definite «scientific method» which renders it absolute and beyond criticism; that scientific

discussions are always detached and objective; and that science is an indisputable benefit for society”(p.350).

E mais à frente, prossegue:

“The problems of using real history in science teaching need not lead to the pessimistic conclusion that the two are incompatible, and hence that science teachers should either avoid history or rely on quasi-history. A practical solution to the dilemma between historical truth and didactic usefulness in science teaching consists in introducing history in connection with a few carefully selected cases. Then a reliable and fairly detailed historical account may be used to discuss concrete scientific subjects, and it may not be necessary to choose between noble lies and immoral truths” (p.360).

Kragh, neste artigo, apenas toca as questões de utilização da história da ciência nas aulas de física, sem se preocupar com os contributos da investigação para esta finalidade. Parte do princípio que existe o material que interessa, afirmando (1986):

“a number of such sources (refere-se à mediação feita pelos historiadores da ciência do conhecimento em história da ciência) already exist. However, one should beware of the secondary sources one use and not rely on only one author, no matter how recognized he is” (p.75).

À semelhança de Mach, a nossa investigação histórica é movida por um interesse pedagógico. Mach era acima de tudo um professor de Física e a sua investigação histórica tinha por finalidade dar relevo aos problemas e às soluções que se foram encontrando, e alimentar toda a criatividade que punha em jogo nas suas aulas. Testemunho deste facto é um excerto das “Popular Scientific Lectures”, que a seguir transcrevemos:

"It would be difficult for me to tell the difference of impression which Lagrange's proof of the principle [princípio do movimento virtual] made on me when I first took it up as a student and when I subsequently resumed it after having made historical researches. It first appeared to me insipid, chiefly on account of the pulleys and the cords which did not fit in with the mathematical view, and whose action I would much rather have discovered from the principle itself than have taken for granted. But now that I have studied the history of the science I cannot imagine a more beautiful demonstration" (Popular Scientific Lectures, p.155).

Neste processo de ligação com o conhecimento científico, testemunhado por Mach, é fundamental a leitura de algumas fontes primárias. Embora a situação seja, hoje, substancialmente diferente, Mach continua a ser, para nós, uma fonte de inspiração. Quando lemos os seus textos e percebemos o entusiasmo que a investigação histórica lhe proporciona e a forma como esta age sobre a sua ligação ao conhecimento, não podemos senão sentirmo-nos seus herdeiros. Tendo como ideia orientadora de todo o nosso trabalho que um bom professor precisa de estar impregnado do assunto de que é professor (Deleuze), pensamos que uma boa ferramenta para isso será o contacto com alguns textos históricos. Pretendemos, portanto, estabelecer um certo contraste, por um lado com Matthews e Solomon que não fazem, praticamente, incursões a fontes primárias; e, por outro lado, com os historiadores das ciências, cujas obras foram fundamentais para nós, que se movem pela crítica histórica.

Isabelle Stengers, em *Le rôle possible de l'histoire des sciences dans l'enseignement* (1992), escreve:

“les enseignants devraient d’ailleurs effectuer eux-mêmes sur leurs propres conceptions un travail qui est bien différent de l’apprentissage des sciences en tant que telles, où c’est le pouvoir d’un énoncé qui prime, ce qu’il permet de faire, les exercices qui vérifient son acquisition, et non la recreation de ses risques et de ses choix. Ce qui signifie d’abord et avant tout qu’il devrait s’intéresser «autrement» à ce qu’il sait. Cette condition, j’en ai fait l’expérience, n’est pas irréalisable et peut même être une source de découverte joyeuse et libératrice pour l’enseignant. Encore faut-il qu’il ait à sa disposition non pas des «livres d’histoire des sciences», mais des mises en perspective historique pertinentes et intéressantes” (p.12, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

A quem caberá a construção destas “mises en perspective historique pertinentes et intéressantes”?

Na resposta a esta questão, I. Stengers nomeia os cadernos especiais da revista «Science et Vie», como exemplo, e reconhece aí um domínio de investigação. Neste sentido, afirma:

“Si les enseignants doivent apprendre à créer une mise en perspective originale, qui n’est ni celle de l’acquisition des compétences ni celle de l’histoire des sciences *stricto sensu*, ils doivent être reconnus comme collectifs de recherche. L’enseignement doit être reconnu comme une recherche en tant que telle, visant à expérimenter, à dégager, à multiplier, à

discuter les multiples moyens de susciter activement la transmission lucide des savoirs scientifiques. Car, je le répète, l'acquisition des concepts scientifiques ne traduit en rien un développement «normal» de l'intelligence" (p.12).

Com esta última frase, I. Stengers pretende demarcar-se da investigação, mais generalizada, de natureza psicológica no âmbito da aquisição dos conceitos científicos. Ou, como ela escreve mais adiante:

“Dans la plupart des cas ce n'est pas l'élève qui «a un problème», ce sont les propositions scientifiques qui «posent problème», qui par nature, font violence non pas parce qu'elles heurteraient des catégories spontanées, mais parce qu'elles impliquent et présupposent des questions et des intérêts qui a priori, ont toutes les raisons d'être étrangers aux élèves” (p.13).

O nosso trabalho encontra, assim, justificação teórica no pensamento filosófico de I. Stengers. A concretização destas “mises en perspective historique pertinentes et intéressantes” é o objectivo principal da nossa investigação, relativamente ao conceito de energia. Todavia, será necessário deixar aqui já algumas pistas sobre o que se poderá entender como “mises en perspective historique” pertinentes e interessantes. Para isso, recorremos ao exemplo referido por I. Stengers (1992) no texto já referido. Trata-se do interesse do movimento da terra, controversia já encerrada mas que não cessa de nos espantar pelas possibilidades de significações que nos permite construir:

“L'histoire par laquelle la Terre a été irréversiblement «mise en mouvement» n'est ni l'effet simple d'une propagande (refere-se a Feyerabend), ni la révélation d'une vérité qui était toujours déjà celle de l'hypothèse astronomique don't la mise en épreuve se limite aux seules données de l'astronomie observationnelle, pour multiplier ses significations et ses implications. Nous pouvons suivre le «devenir irréversible» du mouvement de la Terre par la production d'un réseau d'intérêts, de questions nouvelles, de pratiques qui seraient **disparates** si le mouvement de la terre ne les connectait pas, que ce mouvement fait «tenir ensemble» et qui, réciproquement, lui invente de nouvelles conséquences” (id., p.7).

E, mais adiante, continua:

“historiquement, le concept de mouvement inertiel constitue le premier cas d'histoire proliférant à partir de l'hypothèse héliocentrique. C'est le cas célèbre de la pierre tombant

du mât d'un bateau en mouvement discuté par Galilée dans le **Dialogue**: si la pierre, lâchée, ne poursuivait pas le même mouvement que le bateau, elle tomberait à l'arrière du mât. Mais alors, sur notre terre, en mouvement comme le bateau, nous ne verrions jamais des corps tomber verticalement. Et donc, pour que le mouvement de la terre soit possible il faut bouleverser notre conception du mouvement. On remarquera donc que la question du mouvement inertiel, resituée dans son contexte historique, a pour effet de ressusciter la perplexité quant au mouvement de la Terre: comment pouvons-nous être sur un bolide sans nous en apercevoir?

“L'idée qu'un corps en mouvement poursuit son mouvement, rectiligne et uniforme, si aucune cause ne vient le perturber est une idée qui semble très simple à énoncer, et qu'il est tentant d'introduire par des situations pseudo-familières. J'ai vu des manuels où l'on prend l'exemple d'un galet lancé sur un lac gelé: il continue très loin, et on peut «faire admettre» aux élèves que si les frottements avaient pu être totalement éliminés, il continuerait «indéfiniment». Mais d'autre part, des études empiriques ont montré que les élèves, y compris des étudiants universitaires parfaitement capables de «réciter» le principe d'inertie, se révélaient, dans une impressionnante majorité, incapables d'en tenir compte dans une résolution de problème non évidemment scolaire, c'est-à-dire où ils ne savaient pas que, évidemment, ils devaient l'employer. Ces problèmes étaient d'autant plus intéressants que c'est parfois ceux-là même que Galilée avait utilisé dans son **Dialogue concernant les deux grands systèmes du monde** pour explorer le sens nouveau qu'il attribuait au mouvement. Ainsi, oublions l'air: où tombera une pierre lâchée par un cavalier au galop par rapport à ce cavalier?...

Il est donc apparu que le mouvement inertiel était un «impératif» que les élèves «savaient» mettre en oeuvre s'ils se savaient à l'école, dans des conditions de vérification de leurs connaissances, mais qui n'avait en aucune façon affecté leur conception non scolaire du mouvement.

On pourrait, à ce sujet, parler de «représentation spontanée» du mouvement comme devant être entretenu par une force. Je voudrais renverser les termes du problème, et parler de la violence que le concept de mouvement inertiel implique par rapport à l'ensemble de nos observations et de nos pratiques concrètes. Toutes les transformations que nous observons s'arrêtent d'elles-mêmes. Jamais, sauf dans le ciel, nous n'avons à prendre en compte l'idée qu'un mouvement puisse se perpétuer de lui-même, indéfiniment. En l'occurrence, le principe d'inertie propose donc d'interpréter les mouvements observables, qui s'amortissent spontanément, à l'aide d'une hypothèse qui correspond à un mouvement

inobservable et irréalisable. Je ne crois pas que la notion de «représentation spontanée» ajoute quelque chose à cette situation, sinon, je le crains, un jugement de valeur: comme si ce qui est spontané «devait» être éduqué, ou devait être spontanément reconstruit lorsque l'élève est confronté à des situations qui le mettent en problème; comme si à l'«erreur spontanée» devait «normalement» se substituer une autre représentation, représentation qui, puisqu'il est «normal» qu'elle déplace la première, se situe à un niveau «supérieur» sur une échelle psychologique.

Ma conviction est que la psychologie prend ici, et de manière peu heureuse, la place de l'histoire. Nous avons affaire non à l'intégration d'un concept qui traduirait un «développement de l'intelligence», mais à l'initiation à une histoire singulière, à une invention bouleversante qui fait partie de notre **héritage historique**. Parler, ici, d'invention signifie que ce qui est **normal** c'est qu'un concept scientifique comme celui de mouvement inertiel n'ait, a priori, pas de sens pour l'élève, et ce **non à cause des défauts ou des tendances propres à nos représentations spontanées**, mais parcequ'un tel concept ne prend sens qu'à partir d'une problématique déterminée, ne s'impose que si l'on choisit de s'occuper de certains problèmes et non d'autres, de privilégier certains types de mouvement et non d'autres" (pp.9, 10).

Os ensinamentos metodológicos deste texto são, do nosso ponto de vista, muito valiosos. O interesse da questão joga-se no espanto que suscita a compreensão do observável a partir de uma hipótese inobservável e irrealizável. Não podemos ficar indiferentes perante esta espantosa capacidade imaginativa de interpretação do movimento. Aqui se jogam, explicitamente, o "romance" e a "generalização".

Como contraste a esta aproximação do ensino das ciências, tome-se o livro de Viennot (1996). Esta investigadora, de mérito reconhecido, escreve:

"Nous disposons donc d'un fonds commun de raisonnements auxquels nous tenons. Leur relatif degré de cohérence contribue à leur résistance. Et si quelqu'un vient nous dire qu'ils sont erronés, cela ne va pas nous en détourner du jour au lendemain.

Mais qui viendra nous le dire? Les professeurs? Oui et non.

Ils le font souvent indirectement, puisque ce qu'ils enseignent ne comporte en principe pas d'«erreurs», plus précisément pas d'élément qui soit en contradiction avec le corpus enseigné: ils présentent des savoirs cohérents.

Pourtant cela ne suffit pas pour provoquer l'émergence et l'examen critique des tendances de la pensée naturelle. Savoirs appris et raisonnements naturels peuvent coexister, se

réservant chacun des lieux d'exercice différents. Il en résulte beaucoup d'ennui en cours d'apprentissage et une maîtrise incertaine en fin de compte.

Il faut donc une attention particulière à nos modes de pensée familiers" (p.13, 1996).

Assim, as dificuldades de aprendizagem fazem os investigadores mergulharem cada vez mais na cabeça de quem aprende e pouca atenção é dada às dificuldades do saber em questão, como sugere I. Stengers.

O valor educativo da narração

Ao tratarmos esta questão, a experiência que nos ocorre em primeiro lugar é o efeito que teve sobre nós o filme "Até ao fim do mundo", de Wim Wenders. Já na parte final deste filme, uma das personagens principais deixa-se invadir por uma droga muito especial - consumo de imagens -, desligando-se do mundo à sua volta. Ela parece irremediavelmente perdida. O seu amigo começa, então, a contar-lhe uma história (que não é mais do que a sua própria história) e o seu interesse começa a manifestar-se. Esta personagem é salva pela ligação que estabelece com o mundo através da história.

Esta parte do filme afectou-nos profundamente por aí encontrarmos eco da nossa experiência de vida. Como afirma Bruner:

"we learn about narrative from life or life from narrative: probably both" (p.94).

Já anteriormente focámos o valor das narrativas - dimensão artística - quando falámos da "flying classroom". Elas são um instrumento de geração de interesse, no pensamento de Isabelle Stengers. Bruner, na sua obra "The Culture of Education", vem abordar o valor da narrativa na aprendizagem e, nomeadamente, na aprendizagem das ciências, encontrando aí o suporte ideal para a sua teoria do currículo em espiral, por ele sintetizada num provérbio filosófico:

"Any subject can be taught to any child at any age in some form that is honest" (p.119).

E mais adiante acrescenta:

"domains of knowledge are made, not found: they can be constructed simply or complexly, abstractly or concretely" (p.119).

Esta tese contrasta totalmente com algumas ideias defendidas por alguns investigadores sobre a aprendizagem do conceito de energia e de outros conceitos físicos que se centram sobre a impossibilidade dessa aprendizagem se verificar. Estas posições mais radicais poderão ser encaradas, se utilizarmos a terminologia de Whitehead, como o reinado do velho, pois a preocupação central é sem dúvida o medo do erro.

Sigamos, então, o discurso de Bruner:

"Let me say a little about stories and narratives generally. For it is very likely the case that the most natural and the earliest way in which we organize our experience and our knowledge is in terms of the narrative form. And it may also be true that the beginnings, the transitions, and the full grasp of ideas in a spiral curriculum depend upon embodying those ideas into a story or narrative form" (p.121)

Vygotsky, no texto "La imaginación y el arte en la infancia" (1982), põe em evidência a "força incrível" das histórias e mostra como elas nos ajudam a iluminar algumas das grandes questões da existência humana. Diz ele:

"El cuento ayuda a explicar complejas relaciones prácticas; sus imágenes iluminan el problema vital y, lo que no podría hacer la fría prosa hízolo el cuento con su lenguaje figurado y emocional" (p.27).

Esta ideia é aplicada por Bruner (1996) na sua abordagem ao ensino das ciências. Como ele afirma, "we may have erred in divorcing science from the narrative of culture" (p.42). Bruner tenta mostrar como o próprio processo de fazer ciência é narrativo, escrevendo,

"As every historian of science in the last hundred years has pointed out, scientists use all sorts of aids and intuitions and stories and metaphors to help them in the quest of getting their speculative model to fit "nature" (or getting "nature" to fit their model by redefining what counts as "nature"). They will use any metaphor or any suggestive figure or fable or foible that may luckily come to hand" (p.124).

E, para ilustrar esta ideia, recorre a uma história contada por Bohr:

"Niels Bohr once confessed the story of how he had arrived at the idea of complementary in physics - illustrated, for example, by the principle that you cannot specify both the position and the velocity of a particle simultaneously and therefore you cannot include both in the same set of equations. The general idea had first struck him as a moral dilemma. His son had stolen a trinket from the local notions shop, but some days later, stricken with guilt, he had confessed the theft to his father. As Bohr put it, although he was greatly touched by this moral act of contrition, he was also mindful of his son's wrongdoing: «But I was struck by the fact that I could not think of my son at the same moment both in the light of love and in the light of justice». This led him to think that certain states of mind were like the two aspects of one of those trick Gestalt figure-ground pictures where you can see either the duck or the rabbit, the vase or the profiles, but not both at the same time. And then some days later, as if the idea were blossoming, it occurred to him that you could not consider the position of a particle as stationary in a particular position and at the same time as moving with a velocity in no particular position at all. The mathematics was easy to fix. It was grasping the right narrative that took the hard work" (p.124-125).

Bruner vê a narrativa:

"as a mode of thinking, as a structure for organizing our knowledge, and as a vehicle in the process of education, particularly in science education" (p.119).

Os dois primeiros aspectos estão patentes na história do Bohr.

"Narrative is discourse, and the prime rule of discourse is that there be a reason for it that distinguishes it from silence. Narrative is justified or warranted by virtue of the sequence of events it recounts being a violation of canonicity: it tells about something unexpected, or something that one's auditor has reason to doubt" (p.121).

É este aspecto que Bruner valoriza na arte de manter vivas as boas questões, dimensão difícil, mas fundamental, no ensino das ciências, como referia Whitehead:

"What I am proposing, rather, is that our instruction in science from the start to the finish should be mindful of the lively processes of science making, rather than being an account only of «finished science» as represented in the textbook, in the handbook, and in the standard and often deadly «demonstration experiment»" (p.127).

É o recurso à narrativa que permite manter o interesse e a vivacidade, aspectos fundamentais numa "aula voadora" de ciências. Como afirma Fourez:

“Les enseignements scientifiques consistaient de plus en plus en la transmission de résultats de concepts et de doctrines, et dans le meilleur des cas, de méthodes, qu’on inculquait aux élèves hors des circonstances Qui avaient présidé à leur élaboration. Le style de l’enseignement scientifique n’était nullement narrative - c’est-à-dire présentant des vérités peu contextuées” (p.15).

Fourez fala do passado mas, no que diz respeito ao ensino da física, o texto deve ser escrito no presente. Reforce-se aqui a ideia de que a mudança de enfoque dos resultados para os métodos não conduz, necessariamente, a um ensino menos dogmático, contrariamente à ideia que perpassa o texto elaborado pelos especialistas europeus, referido anteriormente.

Recorrendo a I. Stengers (1992), diremos com ela:

“Aucun fait, aucun énoncé n’existeraient si des humains ne s’étaient pas, avec toute la puissance de leur intelligence, de leur créativité, de leur ruse, de leur technique, engagés de toutes leurs forces pour les faire exister. C’est pourquoi j’ai dit que les sciences, prises comme phénomène historique, ne peuvent pas permettre l’économie de la narration qui suscite l’intérêt et recrée l’espace où des humains se sont engagés pour faire exister. L’histoire des sciences, bien racontée, est une histoire à suspense” (p.13).

Fazer proliferar narrações interessantes é uma das linhas de força deste trabalho.

Capítulo 2

Linhas de desenvolvimento metodológico

No existen caminos preparados para el pensamiento: con sus propios pasos tiene que labrarse una senda”

Ortega y Gasset (1996) em *Meditación de Nuestro Tiempo*, p.66.

2.1 Introdução

"L'effort d'invention consiste le plus souvent à susciter le problème, à créer les termes en lesquels il se posera".

H. Bergson em *La pensée et le mouvant* (1996, p.52, o sublinhado é nosso).

Se a questão geral de onde partimos para o trabalho de investigação conducente à dissertação de mestrado (1993) era do tipo: "Qual é o valor formativo do conceito de energia?", poderíamos dizer que a questão geral de onde partimos para este trabalho de investigação será do tipo: "Qual é o valor formativo da construção histórico-filosófica do conceito de energia?" Se a questão formulada desta forma tão geral fosse satisfatória não teríamos necessitado de introduzir toda a discussão anterior. A uma questão tão geral poderíamos responder com os itens gerais definidos por Matthews (1994, p.7) que pretendem traduzir o valor da história e da filosofia da ciência no ensino e na aprendizagem da ciência, aplicando-os ao caso particular da energia.

Esta questão foi, pensamos, ganhando significação através dos conceitos trabalhados e expostos anteriormente. O que ela evoca em nós, depois de todo este percurso, parece-nos ser o resultado de um processo ao longo do qual "des germes d'idées placés dans un milieu vivifiant se développent à la manière de plantes pour constituer des entités viables, des organismes idéels complexes" (Jacques Schlanger, 1996, p.36).

O tempo passado à procura das palavras-chave que nos permitissem desenvolver o germen inicial contido na questão tão amplamente formulada foi, sem dúvida, uma parte muito importante do nosso trabalho de investigação.

Como diz Jacques Schlanger (1996):

"L'idée se déploie à partir de son germe, en envoyant des pseudopodes dans des directions diverses, pour voir, pour s'essayer, quitte à les rétracter si cela ne lui convient pas, pour aller dans une direction qui lui paraît plus viable.

Il m'arrive de rêver, de m'accrocher à un mot, à une image, de me laisser aller à cette rêverie idéelle. Je sens l'idée se développer en moi, je me sens être moi-même non seulement partie prenante mais aussi matière prenante. Et je me développe avec elle, je suis l'idée qui se développe en moi, je me sens participer à la formation de l'idée en moi en vivant avec elle, en me laissant faire par elle" (p.36).

Esta forma poética de exprimir o processo de desenvolvimento de ideias parece-nos traduzir aquilo que vivemos com grande intensidade ao longo deste processo.

A questão geral que enunciámos no ponto de partida da nossa investigação encerra em si própria uma série de questões que fomos tentando equacionar ao longo da definição dos contornos da nossa problemática.

Assim, quando falamos em valor formativo, estamos a pensar na clarificação conceptual; na ligação ao saber; nas diferentes possibilidades de criação de significação - ao nível dos diferentes estados: romance, precisão, generalização; na preparação para o desenvolvimento da "flying classroom"; no potencial narrativo.

"Valor formativo" para quem? O desenvolvimento do nosso trabalho foi equacionado a pensar nos professores de Física do 3ºciclo do ensino básico e do ensino secundário.

O outro lado da frase "construção histórica do conceito de energia" põe-nos um problema essencial - para além de saber que tipo de construção histórica será adequada ao nosso interesse particular - que se poderá traduzir nos seguintes termos: deveremos apenas utilizar os textos e os resultados produzidos pela investigação em História da Ciência ou deveremos também mergulhar nos textos e nas vidas dos autores protagonistas do processo de invenção do conceito científico de energia? Desde o início, a nossa intuição nos levou para esse

mergulho conseguindo depois alguns argumentos para essa acção. Acreditávamos, com efeito, acreditávamos que o nosso interesse pedagógico nos levaria a olhar para os textos de uma forma particular que teria, com certeza, consequências. Para além deste argumento havia a necessidade de conhecer os textos para podermos escolher alguns que possam ser utilizados em contextos de formação. Este aspecto era para nós de extrema importância visto termos como elemento orientador a ideia, inspirada em Deleuze e Isabelle Stengers, de que é necessário dar aos professores instrumentos que lhes proporcionem uma ligação intensa com o saber científico. Estes instrumentos podem ser textos históricos que possam ser valorizados em diferentes dimensões, como depois veremos.

Relativamente ao primeiro argumento, ele criou uma tensão permanente ao longo da realização do trabalho. A compreensão da nossa diferença relativamente aos historiadores da ciência não era clara e este aspecto foi, sem dúvida, uma fonte permanente de angústia. Pensamos, no entanto, que à medida que o trabalho se ia concretizando, íamos de certa forma tomando consciência de algumas diferenças. O nosso caminho foi-se fazendo, como dizia o poeta António Machado, ao caminhar.

A diferença mais relevante para nós tem a ver com a atitude relativamente aos textos escritos pelos protagonistas do processo, digam eles respeito à apresentação da questão inovadora, na altura, ou à forma como nalguns textos de divulgação eles contam a história. Um historiador da ciência terá o seu sentido de crítica histórica muito apurado e em funcionamento permanente, tentando ler por trás do que está escrito. As suas interpretações serão, sem dúvida, muito importantes para nós mas há também, no que diz respeito ao nosso interesse particular, que "ver" o que está escrito, que fazer ressaltar as estratégias narrativas, as formas como o mundo é dado em espectáculo. Interessam-nos as palavras, as imagens que foram utilizadas. Impregnarmo-nos de algumas dessas palavras, desses textos, possibilita-nos exercer alguma desestabilização no que se tem escrito sobre o ensino da energia.

A nossa hipótese é a de que a construção histórica do conceito de energia tem um valor formativo que se pode desdobrar em várias direcções. O nosso trabalho de investigação tem,

portanto o objectivo, de dar a ver, de exhibir muitas das "dobras"¹ associadas ao conceito de energia, através da sua história, e colocar em evidência o seu potencial valor formativo.

Mostrámos na investigação anterior que a compreensão necessária do conceito de energia não pode fazer a economia de uma construção histórica, aspecto que não vamos generalizar para todos os conceitos. Na verdade, há dificuldades específicas na exploração do conceito de energia que só poderão ser bem geridas através de um conhecimento do seu desenvolvimento histórico.

Sem querermos, como dissemos, fazer generalizações para outro tipo de conceitos, não podemos, todavia, deixar de expressar que consideramos como vivência formativa substancial, para quem ensina, o contacto com a história da ciência. Só essa vivência permitirá pedir aos professores que transmitam "un savoir vivant pour eux-mêmes et non pas de répéter des certitudes" (Isabelle Stengers, entrevista ao Magazine Illustré - Le Soir, 3 de Abril de 1997).

Partindo da ideia de Isabelle Stengers que diz que "les récits ouvrent l'appétit des jeunes enfants", vamos tentar mostrar como a história da ciência é um instrumento valioso na construção de "récits", esperando, assim, que o nosso trabalho possa mais tarde vir a ter consequências na sala de aula promovendo a concretização da "flying classroom".

O mergulho nos textos históricos implicou um trabalho moroso de biblioteca (no nosso caso implicou a procura de bibliotecas que nos proporcionassem uma documentação rica em revistas e textos científicos do século XIX - Bruxelas, Paris, Londres) que não seria compatível com um trabalho empírico. Nesse sentido, tomámos a decisão de realizar uma investigação documental, que poderá, mais tarde, alimentar investigações empíricas.

O objecto deste trabalho de investigação é, portanto, o conceito de energia em construção.

O *corpus* é constituído por textos escritos por Lavoisier, Mayer, Helmholtz, Joule, Ostwald, Mach, Planck. No *corpus* incluiremos também o livro de Joan Solomon "Getting to Know about energy" (1992), pois ele foi alvo de uma atenção muito especial, de entre os escritos oriundos da investigação sobre educação científica. Com efeito, ele representa o culminar de todo um percurso individual de investigação nesta temática, enfatizando os grupos de

¹ Como afirma M. Serres (1992): "expliquer, c'est-à-dire ouvrir les plis" (p.99).

investigação mais relevantes para este domínio, tornando-se o nosso referente pedagógico. É a partir dele que construiremos alguns contrastes.

A ideia geral, mobilizadora do nosso trabalho, é, como vimos, mostrar o valor formativo da construção histórica do conceito de energia. Para isso, utilizaremos todo um conjunto de conceitos e de ideias, introduzidos e caracterizados na introdução a este trabalho de investigação, que passaremos a enunciar através de um conjunto de expressões-chave:

“flying classroom” - o pensamento científico cresce pelo meio (como a erva) - o ensino deveria incluir sempre as três fases: romance, precisão, generalização – significação - construção de significação - história da ciência – controvérsia - interesse pedagógico - valor formativo - ciência viva - pensamento em movimento (se é verdade que o pensamento implicará sempre movimento, o absurdo aparente desta expressão pretende fazer a distinção entre um pensamento pobre, que pára logo um pouco adiante, de um pensamento rico que estabelece ligações que lhe permitem fazer perdurar o movimento) - multiplicação dos gestos de investigação - professor impregnado da matéria que está a ensinar – narração.

O desenvolvimento do nosso trabalho de investigação é caracterizado por um grande entrosamento entre o questionamento e os caminhos seguidos, isto é, torna-se difícil dizer se o caminho seguido deriva da questão colocada ou se a questão colocada emerge do caminho tomado por intuição. Como afirma M. Serres (1992),

“L’intuition est la chose du monde la plus rare, mais la mieux partagée par les inventeurs, qu’ils soient artistiques ou savants. Oui, elle joue – et frappe – les premiers coups” (p.146).

Não sendo nem artistas nem sábios, vivemos, fortemente, esta dimensão do processo. Tentaremos, todavia, explicitar alguns dos aspectos fundamentais na produção deste trabalho. É o que passaremos a fazer.

2.2 A activação de um "círculo criativo" metodológico

"There are two ways of reconciling oneself with actuality: either one grows accustomed to the puzzles and they trouble one no more, or one learns to understand them by the help of history and to consider them calmly from that point of view".

E. Mach em *"History and Root of the Principle of the Conservation of Energy"*, 1911, p.16.

Solomon escreve no prefácio do seu livro *Getting to know about Energy in School and Society* (1992), que o conceito de energia é considerado um dos conceitos mais difíceis de ensinar. Mais adiante (p.107) refere-o como um conceito importante e difícil.

Na dissertação de mestrado tentámos colocar em evidência as dificuldades dos professores relativamente a este conceito. Com efeito, falta-lhes, do nosso ponto de vista, uma certa cultura histórica que lhes permita compreender, no sentido evidenciado por Mach na frase em epígrafe, o conceito de energia.

À palavra energia está associada uma panóplia de utilizações diversificadas. É uma palavra com um percurso interessante, como adiante veremos - veja-se o valor dela para os românticos - mantendo um certo poder expressionista.

Mesmo sobre o terreno científico/técnico as utilizações do conceito são variadas. Como escreve I. Stengers (1997):

"Contrairement à l'accélération galiléenne, par exemple, dont le plan incliné galiléen a produit à la fois la mesure et l'interprétation, les dispositifs exhibant la conservation de

l'énergie étaient donc susceptibles de laisser indéterminée la question de son interprétation"

(p.35).

A esta noção estão associadas facetas tão diferentes que se torna difícil fazer com que os professores ganhem a confiança necessária para a sua abordagem. Basta-nos recordar as discussões entre cientistas que tiveram lugar ao longo de todo o século dezanove, evidenciando essa diversidade de interpretações. Ainda hoje encontramos algumas discussões sobre se a energia é ou não mais fundamental do que a matéria (ver artigo "Beyond $E=mc^2$ " de B. Haish, A. Rueda e H. Puthoff, em *The Sciences*, Novembro/Dezembro, 1994).

Ao longo dos anos foram desenvolvidas investigações importantes no âmbito do ensino/aprendizagem da energia (Duit, 1981, 84, 86; Driver, 1985, 86; Ogborn, 1986; Solomon, 1992; etc.). No entanto, a maioria das investigações centram-se exclusivamente nas dificuldades dos alunos, colocando em evidência os obstáculos à sua aprendizagem e sugerindo aos professores estratégias possíveis na abordagem a estes obstáculos. Como referimos anteriormente, o conhecimento científico não é, em geral, objecto de estudo. Poder-se-ia dizer que a investigação tomou o partido daqueles que Mach caracteriza dizendo: "one grows accustomed to the puzzles and they trouble one no more".

Pensamos que na investigação didáctica sobre a energia faltam investigações centradas numa certa "desconstrução" do saber: na contextualização histórica do conhecimento. É esta dimensão que nos pode iniciar na construção de significações conceptuais, que nos pode ajudar a criar instrumentos pedagógicos menos dogmáticos, que nos pode capacitar a falar das coisas da ciência e da cultura.

Sendo a construção de significados, pertinentes e interessantes, um dos aspectos fundamentais da educação científica vejamos como esta questão é tratada por Solomon.

Esta investigadora preocupa-se, essencialmente, em estabelecer os significados comuns associados à palavra «energia». Para isso propõe três métodos, no livro atrás referido:

"There are at least three different ways in which we might go about the task of finding the common meanings for 'energy'. We might simply reach for the dictionary, especially for

one which conveniently lists the different accepted meanings with their first dated use in literature. This is easy to do and we shall begin our investigations here.

In the second place we could listen to groups of people talking together about energy and try to infer their meanings, contexts and attitudes. We shall expect rather opaque and general purpose opening gambits as they begin to search for points of contact. It is where one person answers another that the agreement on meaning might begin to emerge. Recordings of the discussions of three different groups of adults who knew each other well, will be used for this purpose.

The third way of exploring meanings is more arcane. We will assume that at least some of these meanings might be relics of past theories about the nature of energy, albeit somewhat damaged and disfigured, as relics so often are. This supposition is based on the stability of metaphor or figurative speech in the language. There are so many examples of out-of-date terms, ranging from 'harnessing energy' to 'reaping benefit', in which old ideas are submerged in modern usage. It seems likely that words like these exercise some influence on meanings even if their original familiar impact has been lost. So it is profitable to refer to ideas in the history of energy to identify nuances of meaning in colloquial speech about energy. This will also be done" (p.7).

Aqui, Solomon apenas se interessa em caracterizar o que ela designa por "meanings of energy in the general population". A história não ocupa aqui um lugar nobre. Ela apenas serve para ajudar a caracterizar alguns dos significados comuns da palavra. A sua posição quanto ao valor formativo da história da ciência não se altera ao longo do livro. Na verdade, já na parte final do livro, ela escreve:

"There have been references to the history of scientific thought throughout this book. The rationale for them was not that children evolve through ancient ideas in some genetic sense, but that the ideas have left imprints in the language which we all use to speak about energy" (p.168, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Embora esta autora tenha uma boa cultura histórica, parece sugerir apenas estas duas utilizações - sublinhadas no excerto acima transcrito - da história da energia, para a problemática do ensino/aprendizagem da energia. Tal posição só é compreensível se integrada no contexto desta linha de investigação, que está preocupada quase exclusivamente com a "cabeça" do aluno.

A hipótese que formulamos é que não nos bastam os significados comuns da utilização da palavra energia. A palavra energia suscita uma grande variedade de significações, de utilizações e de emoções. Com efeito, ela é muito utilizada em textos literários, nos discursos sobre as artes, na linguagem corrente. É uma palavra chave nas problemáticas socio-tecnológicas. A história do desenvolvimento do conceito científico está também povoada de significações múltiplas. O que é interessante constatar é o papel, por vezes, similar das diferentes noções de energia em diferentes contextos. Na verdade, elas parecem ocupar uma posição charneira entre movimentos de pensamento contraditórios. Por exemplo, nas artes a noção de energia está entre os representacionistas e os “expressionistas” (ver capítulo 3). Na ciência está, por exemplo, entre os mecanicistas e os fenomenologistas, como à frente explicitaremos.

Se abordarmos a educação científica do lado da cultura não podemos fazer *tabua rasa* das significações e valores associados à palavra energia, dispersos pelos objectos da cultura. Esta utilização tão variada da palavra energia vai-nos permitir o cruzamento de diferentes domínios; ela poderá tornar-se numa fonte de acontecimentos pedagógicos importantes, uma fonte de “encontros”, no sentido de Deleuze.

M. Serres no seu livro “Zola”, a propósito da literatura e da ciência, escreve:

"s'il existe une histoire des littératures et s'il existe une histoire des sciences, ce dont il y a histoire, dans les deux cas, prend naissance et se développe dans une société qui a ses partages, ses moyens de produire, ses mœurs, sa politique, son environnement biophysique" (p.14).

Embora o nosso objecto de estudo seja o conceito científico de energia em construção, tentaremos, sempre que possível, cruzar outros domínios da cultura

Com o que temos vindo a defender poderemos afirmar que não estamos longe de Mach (1911) quando ele afirma: “there is only one way to enlightenment: historical studies” (p.16).

Mas, para além deste papel clarificador dos estudos históricos pretendemos, através deles, criar instrumentos pedagógicos. E quando falamos em instrumentos pedagógicos estamos a pensar em ferramentas que permitam a concretização de verdadeiras “flying classroom”;

estamos a pensar em situações possíveis de formação que vivam através do ritmo: “romance”, “precisão”, “generalização”.

Sendo este trabalho apenas centrado na análise documental, a primeira questão metodológica emerge quanto à pertinência e ao valor dos interesses pedagógicos postos em cena.

A construção histórica produzida será o resultado da activação de um círculo criativo (designação utilizada por Varela, 1993, na obra *L'inscription corporelle de l'esprit*, por oposição à ideia de círculo vicioso) entre uma cultura histórica e aquilo que designámos por interesse pedagógico (ver figura 3), inserido na noção de educação desenvolvida anteriormente. A questão essencial que se nos coloca é como activar um círculo com estas características. É o que passaremos a explorar para o caso que nos ocupa: o conceito de energia.

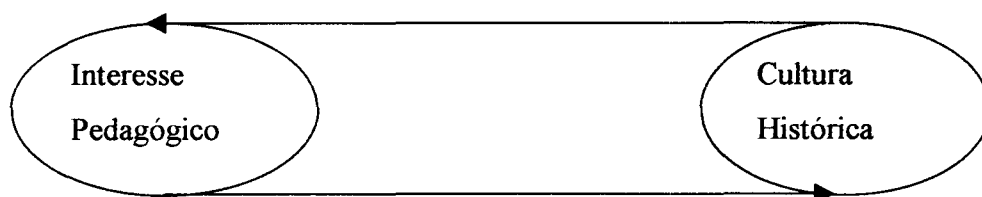


Figura 2.1 Círculo criativo metodológico

Interesse Pedagógico

Desenvolvido a partir de uma cultura e de uma vivência pedagógica.

Elaborado a partir dos resultados de investigação sobre educação em energia.

Elaborado metodologicamente a partir das sucessivas leituras do livro de Solomon, (1992), *Getting to know about Energy in school and society*.

Cultura Histórica

Desenvolvida e elaborada a partir de leituras criativas de:

- Textos (fontes secundárias) sobre diferentes aspectos da construção do conceito de energia.
- Textos filosóficos
- Textos dos protagonistas (fontes primárias): Mayer, Joule, Helmholtz.

Metodologicamente o caminho que foi seguido nesta investigação assenta numa já longa caminhada anterior. Com efeito, a cultura pedagógica referente à temática da energia foi elaborada ao longo do trabalho conducente à dissertação de mestrado (1993). Pudemos, assim, concentrarmo-nos nas sucessivas leituras do livro de Solomon em diferentes momentos da evolução da nossa cultura histórica, que constituiu o nosso referente, essencial, pedagógico. Neste momento diremos que o círculo está activo, porque já não é possível dizer se foi a leitura de *Getting to know about Energy* que nos deu os ingredientes necessários para a relação especial que pretendemos estabelecer com o conceito em construção, se foi o contrário. Este método de funcionamento explica a razão da inclusão do livro de Solomon no *Corpus* do trabalho. Mas, porquê esta obra e não outros estudos? Por várias razões:

1. Porque a energia é um conceito a que Solomon tem dedicado grande parte da sua actividade de investigação.
2. Porque esta obra integra os resultados fundamentais da investigação sobre a aprendizagem da energia.
3. Porque é a obra, nesta área, de que nos sentimos mais próximos. Com efeito, partilhamos alguns princípios orientadores, embora bifurquemos em pontos importantes.

É este último aspecto que dará pertinência ao nosso trabalho. Na verdade, serão as bifurcações estabelecidas que, do nosso ponto de vista, poderão representar algum acréscimo de conhecimento.

Antes de passarmos às bifurcações referidas urge especificar melhor alguns aspectos da cultura histórica. As ideias desenvolvidas no trabalho anterior (1993) – dissertação de mestrado – foram alimentadas por uma cultura histórica assente, essencialmente, nas fontes secundárias. Esta permitiu-nos avaliar a importância da história deste conceito no desenvolvimento da sua significação e, conseqüentemente, na clarificação conceptual. Nasceu, aí, o desejo de avançar para uma construção histórica pilotada por um interesse pedagógico. A convicção de que uma incursão às fontes primárias teria um valor pedagógico importante e a ideia de que estes textos (fontes primárias) potenciariam uma certa ligação com os seus autores constituíram um móbil importante desde o início desta investigação. Movia-nos o interesse de dar a conhecer textos bonitos e elegantes, belas imagens, boas ideias, pequenas histórias, situações experimentais; em suma, de fomentar o gosto pelas ideias. Com Whitehead desenvolvemos a sensibilidade à questão do ritmo na educação e aprendemos a avaliar a dificuldade em o manter. A história construída, neste trabalho, pretende ser uma fonte de ritmo.

A adjectivação de Mach (prefácio às Popular Scientific Lectures): “the charm and the poetry of research” traduz bem parte da nossa vivência ao longo do desenvolvimento deste trabalho e traduz a sensação provocada por alguns dos textos do nosso *corpus*.

A construção histórica produzida desenvolveu-se no entrelaçar de duas dimensões principais:

- 1. Os autores e os seus trabalhos**
- 2. As ideias pedagogicamente importantes.**

O primeiro ponto incorpora, essencialmente os seguintes aspectos:

- A noção de energia antes do enunciado do princípio de conservação;
- A noção de energia em Joule, Mayer, Helmholtz;
- A noção de energia depois do segundo princípio da Termodinâmica
- A noção de energia em Planck (a discretização)
- A noção de energia dos mecanicistas e dos energetistas.

O segundo ponto incluirá, essencialmente, a exibição do valor estético-intelectual da conservação da energia, a meados do século dezanove e dos limites explicativos de uma tal noção; e a exibição do valor e dos limites da noção de “degradação” da energia.

2.3 "Aprender a construir uma obra com ideias"

Relembremos que o nosso pressuposto de que os conceitos científicos, para além de serem instrumentos importantes na construção do conhecimento científico, contribuem, também, para a construção do saber pessoal gerador de uma certa compreensão do mundo, através da produção de novas significações, de novas imagens, tem-nos feito interessar pela investigação sobre o ensino dos conceitos físicos, e em especial sobre o conceito de energia.

E porquê o conceito de energia? Por variadas razões. Já anteriormente nos referimos ao facto, reconhecido pela comunidade de investigação, do conceito de energia representar um dos conceitos mais difíceis de ensinar. Vimos como alguns investigadores se interrogam sobre a pertinência do seu ensino.

Nós pensamos como Kramers que:

"dans le monde de la pensée en général et dans les sciences physiques en particulier, les concepts les plus fructueux sont ceux auxquels il est impossible d'attacher une signification bien définie" (Kramers citado por Elkana, 1974, p.161).

Por outro lado, o conceito de energia ajuda-nos a concretizar uma ideia de Whitehead, anteriormente valorizada por nós:

"Les hommes ont besoin que leurs voisins leur donnent quelque chose d'assez semblable pour qu'ils les comprennent, quelque chose d'assez différent pour retenir leur attention, et quelque chose d'assez grand pour susciter leur admiration" (frase já citada, p.239).

Com efeito, o conceito de energia entra nestas três categorias. Ele permite o apelo ao semelhante, é diferente e é muito interessante. Estas características fazem dele um conceito muito frutuoso do ponto de vista da educação e da formação.

Assim, colocamos como questão de partida: o facto de a palavra energia ser utilizada em domínios tão diferentes com uma multiplicidade de significações, será um aspecto positivo ou negativo, associado a esta noção?

De um ponto de vista educativo diríamos que é positivo porque permite cruzar diferentes domínios - é um objecto importante da nossa cultura; mas do ponto de vista estrito do ensino da física este aspecto é, muitas vezes, encarado como uma dificuldade para a aprendizagem da Física. E porquê? Porque na hierarquia dos saberes que a escola cultiva pretende-se que os

conceitos físicos, muitas vezes sem significação real para os alunos, anulem as outras concepções (a própria investigação ao promover a tão desejada mudança conceptual reflecte esta hierarquia). Com este raciocínio chegamos, necessariamente, a uma contradição entre as finalidades educativas e as finalidades da aprendizagem da Física.

Outro pressuposto, importante: se a educação científica é uma componente, por entre muitas outras, da educação global do indivíduo tem de, apesar da sua singularidade, ser capaz de cruzar outros saberes, sem cair na tentação de um certo imperialismo.

Os professores continuam a sentir um certo mal estar na sua relação com este conceito, sentindo que este lhes foge. E porquê? Em parte porque não controlam muitos dos sentidos que a palavra pode fazer viver, não estando, assim, preparados para inscreverem as significações científicas na cultura adjacente. A juntar a isto há a considerar uma formação universitária pobre no que diz respeito à exploração das significações dos conceitos científicos. A investigação por nós realizada anteriormente (*A Pedagogia do Conceito de Energia*, 1993) levou-nos a formular a seguinte hipótese explicativa: a falta de dimensão histórica e filosófica na formação dos professores condiciona fortemente as suas ideias sobre o conceito de energia e consequentemente o que eles transmitem nos contextos de ensino-aprendizagem. Este condicionamento a que nos referimos traduz a impossibilidade de realização, nesta temática, da "flying classroom", que é um objectivo importante da nossa investigação.

Há conceitos cujas justificação e pertinência estão contidas na sua própria história, como é o caso da energia. O professor deve ser colocado em contacto com alguns aspectos históricos do seu desenvolvimento. Que tipo de contacto nos interessa promover? Resposta a esta questão já foi dada ao longo do desenvolvimento de alguns aspectos determinantes da problemática. O que nos ocupa agora é a forma de produção de um saber pedagógico que nos permita realizar as aproximações desejadas. Já justificámos a necessidade de incursão às fontes primárias e já estabelecemos alguns elementos de contraste (recorrendo a Solomon e a Bevilacqua) que são as linhas mestras do nosso método.

Estabelecidas estas linhas gerais metodológicas, e as considerações problemáticas de partida e restam-nos ainda muitos graus de liberdade no campo de investigação, os suficientes para perdermos a capacidade de privilegiar uma dada direcção, assumindo os riscos daí decorrentes. Houve, portanto, momentos cruciais de tomadas de decisão. A primeira decisão foi a de nos concentrarmos, essencialmente, no século XIX, entrando no século XX através dos escritos de Planck. Ou seja, a nossa atenção recairá sobre a emergência do conceito científico e sobre a evolução deste, naquele período. Deixamos cair, de certa forma (no que diz respeito às fontes primárias), as "raízes" do conceito de energia. A elas referir-nos-emos

através de histórias contadas por outros autores - como é o caso de Mach, de Hierbert e de outros.

Limitado assim o campo e os elementos de “desorientação” ainda são manifestos. Com efeito, o século dezanove é profícuo em discussões em torno do novo conceito. Nós começámos por percorrer o *Philosophical Magazine* ao longo de todo o século e recolhemos muita informação. Embora esta fase nos tenha desorientado um pouco ela foi muito importante pois, por um lado, deu-nos a saborear a variedade de discussões em torno deste conceito, por outro lado, teve o mérito de nos confrontar com o aspecto talvez mais difícil deste tipo de investigação: o desenvolvimento de uma sensibilidade ao que é, verdadeiramente, relevante. O desenvolvimento desta sensibilidade precisa de tempo e não é alheia à vivência de uma certa angústia. No entanto, esta etapa é muito rica e não pode ser eliminada. À medida que aprofundávamos a investigação desenvolvia-se em nós uma sensibilidade de investigador inerente à formação do investigador.

O crescimento da cultura histórica é determinante para a activação do círculo referido anteriormente. As decisões importantes foram tomadas à medida que o círculo criativo se tornava activo.

Tomadas algumas decisões era necessário mergulhar nos textos.

A leitura dos textos

"Pour entrer dans un texte, il faut en sortir"

Jacques Schlanger em *Gestes de Philosophes*, p.110

O nosso *corpus* é constituído por textos. A leitura de textos, orientada pelas questões anteriormente trabalhadas, foi uma das fases importantes desta investigação. A caracterização dos vários tipos de leitura realizada foi inspirada pelo pensamento de Jacques Schlanger (1994).

Este filósofo distingue duas formas de leitura a filosófica e a científica para depois concluir que, muitas vezes, estas duas formas de leitura coexistem entrelaçadas uma na outra:

"On manque d'un critère de démarcation qui permette de distinguer clairement la lecture scientifique de la lecture philosophique - surtout quand ces deux lectures, comme cela arrive souvent dans les textes théoriques, sont imbriquées l'une dans l'autre: qu'on pense aux *Discorsi* de Galilée, et à certains textes célèbres d'Einstein. On a le même problème d'imbrication des deux genres de lecture dans le cas de textes littéraires à forte teneur

idéelle: qu'on pense aux romans de Thomas Mann et de Hermann Hesse, aux oeuvres de Kafka, et à bien d'autres encore. Où s'arrête l'homme de science, où commence le philosophe? Si on considère la lecture philosophique comme une lecture d'idées en tant que telles, et non pas comme une lecture d'idées en tant que reflets de phénomènes ou de choses, on peut dire que tout texte qui contient des idées se prête, en droit tout au moins, à une telle lecture" (p.107).

É o nosso caso. Com efeito, os textos que constituem o *corpus* desta investigação implicam estas duas leituras imbrincadas uma na outra. Como afirma este filósofo:

"La lecture philosophique n'est pas simplement une lecture du contenu du texte, des idées qu'on trouve dans ce texte, c'est aussi une lecture de la manière dont ces idées sont exposées. Une lecture des idées et de leur agencement" (p.105).

Este aspecto teve um lugar de relevo nas nossas leituras. Ainda que a nossa leitura filosófica não resulte de uma formação disciplinar poderemos considerá-la desta natureza, tendo em conta as características evidenciadas por Schlanger. Com efeito, sentimo-nos mais próximos de uma leitura filosófica do que de uma leitura de historiador, que se aproxima mais das características de leitura científica:

"l'homme de science lit un texte et cherche à le mettre à l'épreuve de la réalité externe: pour lui, comprendre c'est vérifier. Le philosophe lit un texte et réagit du point de vue des idées qu'il y trouve, en exprimant son accord ou son désaccord avec les idées elles-mêmes et avec leur déroulement. Pour lui, comprendre c'est entrer et sortir de ce texte, pour l'apprécier en tant qu'objet idéal" (id., p.106, o sublinhado é nosso).

Com isto não queremos em nada diminuir a importância e o valor da leitura científica que estará sempre presente.

No nosso percurso de leitura filosófica podemos facilmente identificar aquilo a que Schlanger chama de leitura ingénua e de leitura "savante". Com efeito, por vezes, o primeiro contacto com um novo texto fazia-nos sentir:

"comme l'amateur naif, touché par l'objet d'art qu'il contemple dans une sorte d'immédiateté innocente; l'amateur auquel l'objet d'art plaît ou ne plaît pas sans qu'il puisse s'en expliquer autrement qu'en affirmant et réaffirmant son plaisir ou déplaisir" (id., p.108).

Este tipo de leitura não permite ir muito longe. Era necessário trabalhar o texto e fabricar uma leitura "savante":

"Pour le lecteur savant en revanche, le texte se situe à plusieurs niveaux à la fois, dans la diversité et le chatoiement de ses propres harmoniques. Cette lecture savante est une lecture doublement riche, fondée aussi bien sur la force d'évocation du texte que sur les répondants culturels que le lecteur sait y reconnaître. Ce que le lecteur savant perd en fraîcheur, en innocence, en immédiateté, il le gagne en profondeur, en richesse, en profusion d'idées. Le lecteur savant a pu être comparé à deux personnages différents, au critique d'art et à l'artiste créateur - selon l'usage qu'il fait du texte. Dans les deux cas, il ne se limite pas à la jouissance passive de l'oeuvre d'art, il produit à partir d'elle" (p.108, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta produção de ideias poderá ser vista:

"[1]comme l'expression d'une lecture de disciple qui vient compléter le texte, une colecture, une lecture d'obédience dans l'intention de comprendre, de commenter, d'interpréter, sans rien changer à l'essentiel; [2] ou comme l'expression d'une lecture critique, qui cherche à se situer face au texte, une contre-lecture, une lecture polémique, qui entend examiner le texte dans ses faiblesses plutôt que dans sa force; [3] ou encore comme l'expression d'une lecture d'auteur, lecture d'usage, lecture de bricoleur, d'homme qui fait miel de tout pour son usage propre, qui emploie les idées exposées dans le texte pour produire ses propres oeuvres, et qui considère les textes de ses prédécesseurs comme autant de matériau à exploiter" (p.109 e 110, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Também aqui poderemos dizer que pertencemos aos três grupos, mas no que diz respeito aos estudos históricos sentimo-nos mais como o "homem que faz mel a partir de tudo". Já a leitura do livro de Solomon foi um misto de leitura de discípula e de leitura polêmica. Esta última foi emergindo à medida que a nossa cultura histórica foi enriquecendo. Quanto à leitura dos textos históricos podemos dizer que se caracterizou, em parte, por uma busca de diferentes elementos a diferentes autores e por um encontro produtivo de ideias; ou seja caracterizou-se por uma leitura "d'homme qui fait du miel de tout pour son propre usage".

Segundo Schlanger podemos distinguir na leitura dos textos uma leitura cognitiva, centrada no conteúdo e na forma, e uma leitura emotiva. Esta, de acordo com este filósofo:

"met l'accent sur l'expression du texte, sur son ton, sur son aspect esthétique (en entendant «esthétique» au sens premier de ce qui a trait aux sentiments)" (p.111).

A leitura emotiva esteve sempre muito presente no desenvolvimento do nosso trabalho, especialmente, na leitura das "Popular Scientific Lectures" tão em voga na segunda metade do século dezanove. Neste tipo de leitura, como escreve Schlanger:

"Le lecteur est personnellement engagé, il est pris par le texte et réagit existentiellement à lui - qu'il s'agisse d'un lecteur naïf pris par la beauté du texte, d'un lecteur passionné que le texte engage dans sa propre vie, ou d'un lecteur savant qui vibre aux idées qu'expriment les mots, lecteur que la langue du texte fait rêver aux idées qu'il y trouve. La lecture émotive touche autant l'«âme» que l'«esprit», le sentiment que l'intelligence; elle nous saisit de l'intérieur du texte et nous aspire en lui, dans un mouvement qui dépasse le sémantique et le syntactique: peut-être peut-on parler à son sujet d'une lecture intuitive. La lecture sémantique et la lecture syntactique nous mettent devant le texte, la lecture émotive nous retient en lui" (p.115, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Tendo nós como objectivo promover a ligação do professor à temática, aos textos, a leitura emotiva dos textos será um instrumento valioso, pois acrescenta ao saber da leitura "savante" a envolvimento, o sentimento.

A escrita produzida, tendo em conta estas diferentes leituras constitui um objecto de criação de efeitos. De entre eles há que relevar aquele que Maria Zambrano (1989) põe em evidência escrevendo:

"O escrito é igualmente um instrumento para esta ânsia incontível de comunicar, de «publicar» o segredo encontrado, e o que tem de beleza formal não pode diminuir-lhe o seu primeiro sentido: o de produzir um efeito, o fazer que alguém fique inteirado de alguma coisa" (p.39).

Um trabalho de investigação não escapa a esta finalidade. A escrita produzida em investigações como a nossa deve ser capaz de se libertar dos métodos de investigação concretizados, pois só assim ganhará a clareza e o ritmo necessários à descoberta de novos sentidos. É na escrita que todas as tensões se jogam e se gerem, de forma que só aí o "segredo" se revela, como diria Maria Zambrano.

2.4 Uma leitura de *Getting to know about Energy in school and society* (1992) de Joan Solomon

2.4.1 Introdução

Ao lermos o prefácio desta obra pressentimos a cultura da autora, e, nomeadamente, uma certa cultura histórica (que abordaremos mais adiante). Como foi dito a leitura deste texto desenvolveu-se a duas dimensões: a de discípula e a de crítica; ou seja, vivemos com ele dois níveis de relacionamento diferentes - os derivados de uma co-leitura e de uma contra-leitura. Com efeito, embora nos sintamos próximas da autora no que diz respeito à nossa ligação com a noção de energia não podemos deixar de assinalar algumas bifurcações essenciais.

É o caso, por exemplo, quando Solomon escreve:

“Some chapters in the book, and considerable sections in many others, escape completely from the classroom into considerations of energy in language, literature, beliefs, technology, history and general culture” (p. VI).

Ou seja, tudo o que é interessante fica fora da sala de aula, como mostraremos mais detalhadamente quando tratarmos o ensino formal da energia. Poucas esperanças para a concretização da aula voadora. Poucas esperanças para vermos, em situação escolar, “what place physics has in the total reality, in the context of all intellectual endeavors” (Holton, citado anteriormente).

Como veremos, nesta obra, para a sala de aula apenas interessa o conhecimento comum e o conhecimento científico frio e seco, dogmático. Toda a vivacidade potencial associada a objectos menos comuns da cultura (e, portanto, à novidade) está ausente.

Há, no discurso de Solomon, uma abertura de ideias, relativamente ao discurso da maioria dos investigadores nesta área, que nos faz vislumbrar outros horizontes, para além do horizonte fechado da utilização do pensamento piagetiano nestes contextos. É o caso, por exemplo, da seguinte afirmação:

“Evidence from the last two chapters shows that the social stock of knowledge is more like a free-choice cafeteria than a ladder to a hierarchy of stages. Our children can and do help

themselves to new meanings and new knowledge according to social opportunity, personal preferences and intellectual tastes" (p.78).

Com isto Solomon parece dizer que o "pensamento pode crescer pelo meio". No entanto, esta ideia não vai ter efeitos sobre as situações de aprendizagem acadêmica, como veremos, onde será, essencialmente, retomado o pensamento piagetiano como fundamento para a sua proposta.

Solomon interpreta algumas das discussões, promovidas em sala de aula, em torno da noção de energia com base nos pensamentos de Piaget e de Vygotsky. Pode, assim, evidenciar que:

"Piaget's is not the only theoretical interpretation of what happened in these discussions, nor does it take all the dimensions of the pupils' work into account. Vygotsky would certainly have placed greater stress on ideas carried over on the back of language. He wrote that 'the child's intellectual growth is contingent on his mastering the social means of thought, that is language' (1976). He changed the focus of exploration from the internal maturation of logical mechanisms to social interpersonal events, like discourse, that can stimulate intellectual advance" (p.75).

Vygotsky ajuda Solomon a passar da ênfase nas estruturas psicológicas para a ênfase no discurso. Não faz, no entanto, apelo à noção de "zona de desenvolvimento próximo" deste psicólogo, parecendo mais influenciada por Piaget quando aponta para o «consensus-building» como um processo que:

"might completely by-pass cognitive structures. Agreement, and not precocious cognitive development, would be the more valued commodity" (p.75).

Este processo de «consensus-building» terá algum valor para a aprendizagem dos saberes científicos? Solomon tenta mostrar que sim, se essa aprendizagem for encarada como uma extensão do conhecimento geral. Por outro lado, a impossibilidade de realização de consenso vai servir-lhe para propor uma diminuição de importância dos conceitos problemáticos nesse aspecto como é o caso da conservação da energia, mesmo no que diz respeito ao ensino/aprendizagem do conhecimento científico.

Com esta ideia Solomon tenta afastar-se de uma certa concentração psicológica, no entanto, o lugar único que o comum toma nos diferentes aspectos do seu pensamento não nos parece ter efeitos formativos interessantes.

Fazendo da obra de Solomon (1992) o nosso referente em termos de propostas de estratégias de ensino-aprendizagem da temática da energia e em termos dos pontos de partida e fundamentos para essas propostas, vamos tentar exhibir quatro pontos em que divergimos – que designámos por bifurcações – e que serão o motor de todo o desenvolvimento deste trabalho.

2.4.2 Primeira Bifurcação

Da ênfase no Conhecimento Geral para a ênfase na Cultura

Embora a frase de Solomon, citada na p.17, nos tenha inicialmente aproximado - mesmo tendo em conta a bifurcação referida - quando a lemos com mais atenção e depois de conhecermos melhor a obra constatámos que ela contém indícios que nos permitem pressentir diferenças essenciais. Com efeito, para Solomon há “dois domínios de conhecimento”: o conhecimento geral (também designado por conhecimento do mundo da vida), e o conhecimento abstracto académico. O conhecimento geral é, como ela escreve, “the very stuff of common culture” (p.4). A esta cultura comum contrastamos com Whitehead e Bruner que colocam em cena uma outra noção de cultura, como vimos. Esta diferença resulta do facto de Solomon centrar a sua preocupação na compreensão psicológica, enquanto que Whitehead e Bruner estão interessados no pensamento em movimento, na sensibilidade, na imaginação.

O pólo da “general culture” torna-se o pólo dominante no desenvolvimento do pensamento de Solomon. Ora o apelo ao conhecimento geral, contrariamente ao apelo à cultura, não proporciona novas experiências. Ocorrem-nos, por contraste, os versos do poeta João Cabral de Melo Neto: “E belo porque com o novo/todo o velho contagia”.

Como contraste à sobrevalorização do polo conhecimento geral desenvolver-se-á o capítulo sobre a palavra energia e a valorização, por nós realizada, das “Popular Scientific Lectures” de Helmholtz e de Mach.

O Conhecimento Geral

A caracterização do conhecimento geral da população relativamente à noção de energia é feita recorrendo aos três métodos, referidos anteriormente (dicionário, conversa entre as pessoas, história da ciência). Solomon encontra, com base nestes três métodos, três grandes categorias: Agente Imaterial, Força Viva e Medida do Trabalho.

a) Agente Imaterial

Com esta categoria Solomon pretende pôr em cena a dimensão metafísica associada ao termo energia. Esta dimensão terá, segundo a autora, uma raiz na filosofia clássica grega, prolongando a sua influência ao longo dos tempos até aos dias de hoje. Nesse sentido, faz algumas citações de textos dos séculos XVII e XVIII e nomeia alguns textos contemporâneos de ficção científica, para mostrar esta continuidade de significação. Conclui:

“All of this might be said to constitute fragmentary and rather bizarre evidence that the most modern of popular space fiction perpetuates seventeenth century meanings of energy, which themselves may well derive from a metaphysical concept of Aristotle’s which dates back some two thousand years earlier still” (p.9).

Há, no texto de Solomon, uma certa desvalorização das significações que vão, no tempo, para lá do século XIX. É no século XIX que emerge o que ela designa por uma utilização moderna da palavra. O papel importante da noção de energia no desenvolvimento de novas correntes de pensamento em diferentes domínios da cultura nos finais do século XVIII é ignorado. Contrastaremos com Solomon, a este respeito, no capítulo intitulado "Uma Palavra".

Aliás, como veremos, o conceito científico desenvolve-se também em meios onde predomina uma certa espiritualidade (é o caso, por exemplo de Mayer, de Colding e de Helmholtz).

Há um certo paradoxo na posição de Solomon: por um lado, faz a apologia do moderno, portanto do novo, por outro lado, as incursões que faz à história parecem apenas mover-se pela procura do que é comum. . A autora não se coloca a questão, para nós importante, porque é que os cientistas vão buscar esta palavra. O papel revolucionário que a palavra teve na história do pensamento, nomeadamente no pensamento do séc.XVIII, não foi objecto de interesse, assim como não parece ser objecto de interesse uma história que dê relevo à imaginação, à criatividade, ao valor das ideias, ao entusiasmo.

Todavia, há uma questão interessante relevada por Solomon a partir desta categoria: as ideias abstractas não estão ausentes do pensamento comum. Com efeito, esta categoria traduz a natureza abstracta de uma noção de energia de que a linguagem natural está imbuída - o que lhe dá um grande poder. A própria Solomon termina o prefácio enredada no poder de uma tal noção. Diz ela: “this book is about energy and, as children say, «energy is the source of all life»” (p.xi).

O carácter abstracto desta categoria permite-lhe afirmar o seguinte:

“It is sometimes suggested that physics is a perversely abstract activity whilst common thought is not. This is quoted by those who want to excuse the shortcomings of pupils, and is a part of the educational polemic which seeks to find a kind of science which may be more accessible to all. The objective may be laudable and faultless, but the argument – that abstract ideas are foreign to everyday thought – does not stand up to examination through conversation” (p.8).

Estamos inteiramente de acordo com o que Solomon aqui afirma. No entanto, uma Solomon excessivamente mobilizada por uma ideia de ciência imediatamente acessível a todos irá, como veremos mais adiante, ter efeitos negativos no que diz respeito ao ensino formal da energia.

Se o reconhecimento de que há no pensamento comum ideias abstractas nos fez esperar um outro tipo de abordagem ao ensino e à aprendizagem dos conceitos científicos², esta esperança morre quando Solomon trata a aprendizagem do conceito científico de energia, estabelecendo uma barreira quase intransponível entre a natureza da abstracção das ideias científicas e a natureza da abstracção do pensamento comum.

Solomon distingue duas formas de abstracção: a natural e a forçada. Esta última é a que intervém na construção do conhecimento científico e é a que está na origem das dificuldades de aprendizagem referidas pelos investigadores. Esta abordagem acaba por anular o efeito de abertura que o discurso de Solomon parecia querer fazer existir. Na verdade, tornam-se indesejáveis alguns conceitos, como o de energia, que exigem um esforço de abstracção muitas vezes inglório.

b) A Força Viva

A associação da energia à vida é um significado geral que esteve presente em diferentes épocas no desenvolvimento da ciência, começa por escrever Solomon. Esta apresenta a *vis viva* de Leibniz, por um lado, como eco do ar dos tempos e, por outro lado, como uma noção com alguma responsabilidade no desenvolvimento do Vitalismo do século dezoito.

No discurso de Solomon sobre Leibniz pressente-se uma certa atitude crítica. Com efeito, ela escreve:

“The works of the German mathematician and philosopher Leibniz are difficult for a modern lay reader. As co-inventor of the mathematical calculus there was bitter rivalry between him and Isaac Newton. While most of his books are punishingly hard to

² Com efeito os conceitos físicos têm sido reconhecidamente difíceis de ensinar, pela investigação nesta área, pelo seu carácter abstracto dando origem a correntes didácticas excessivamente marcadas pelo peso do “quotidiano”.

understand, his theories of force and movement include a curious strand of what may be the common thought of his times. He introduced the notion of creation, and of life itself, into the dry calculations of mechanics, and by so doing may have made contact with a strand of meaning already existing in the general culture. He identified a mathematical entity, 'vis viva' which he calculated by multiplying the mass of a body by the square of its velocity – mv^2 , and this he held to be the link between religion and mathematics. As an aristocrat and a scholar, Leibniz would probably have denied any influence from cultural general knowledge with great indignation. However, from the perspective of another age, it is easier for us to glimpse the meanings of a religious world-view beneath his properly academic protestations" (p.10).

E, mais adiante, escreve a propósito do pensamento de Leibniz:

"Leibniz, a century later [refere-se à época de Galileu], was an archetypal abstract mathematician. His writings give the impression that the energy of motion needs to be reified and conserved for some purely conceptual reason. So he just ignored the 'running down of things'. This attitude exemplified the sad schism between the abstract theoreticians and practical thinkers which existed down the ages in western Europe. We may indeed have glimpsed it again in the present day controversy over teaching about energy" (p.123)³.

Esta referência não nos parece justa. Precisamente, o facto de Leibniz querer valorizar uma ideia de conservação obrigou-o a procurar explicações para a aparente não-conservação. É, nesse sentido, que ele constrói algumas analogias, nomeadamente na sua correspondência com Clarke. A respeito de Leibniz e ligando-o à necessidade de inteligibilidade exibida nos textos de Helmholtz, I. Stengers (1997) escreve:

"von Helmholtz reprend, dans ce nouveau contexte où la chaleur est devenue une quantité, l'interprétation que donne Leibniz, dans sa cinquième lettre à Clarke, à la perte du mouvement lors du choc entre deux corps «mous» ou non élastiques. Des forces actives se sont-elles perdues? «Je réponds que non. Il est vrai que les touts la perdent par rapport à leur mouvement total; mais les parties la reçoivent étant agitées intérieurement par la force du concours ou du choc. Ainsi ce déchet n'arrive qu'en apparence: les forces: les forces ne sont pas détruites mais dissipées parmi les parties menues. Ce n'est pas les perdre, mais

³ Queremos referir aqui a estranheza que sentimos ao lermos as partes do texto de Solomon referentes a Leibniz. Solomon fala de Leibniz com um certo tom autoritário sem incluir na bibliografia nenhum texto de Leibniz e sem referir no texto principal autores que se tenham assim manifestado relativamente ao pensamento de Leibniz.

c'est faire comme font ceux qui changent la grosse monnaie en petite» (*Correspondance Leibniz-Clarke*, éd. A. Robinet, PUF, Paris, 1957, p.168). On n'oubliera pas, cependant, que, pour Leibniz, la vérité philosophique de la «force active» ou «vive» n'est pas mécanique" (p.41)

A incursão a Leibniz feita por Solomon, a propósito desta categoria, não tem como efeito desejado a compreensão do significado e apreciação do valor da noção de *vis viva* introduzida por Leibniz. Essa incursão é feita pelo lado da palavra "viva", como já referimos:

"No wonder then that Leibniz was to name this in-dwelling force '*vis viva*' - the living force. Because of its simple relation to mass and motion it applied to all moving objects and carried the implication that they were all alive" (p.10).

C) Medida do trabalho

A ligação da palavra energia à noção de trabalho é o passo fundamental para que a energia se transforme numa medida, aspecto essencial da noção científica. Como é que esta noção vai contaminar o conhecimento geral é a interrogação a que Solomon tenta responder neste item. É no século dezanove que o significado da energia adquiriu a sua dimensão moderna de trabalho, afirma Solomon. Nesse sentido escreve:

"This time there was no haphazard picking up of an old meaning out of an existing basket; the word 'energy' was deliberately introduced by Thomas Young in 1807 for a new purpose. On the surface he did no more than redefine *vis viva* as simple 'energy', but in this vigorously industrial age it came to imply work and power, rather than any mystical indwelling animism" (p.12).

Se é verdade que Young introduziu a palavra energia no contexto científico, ele não foi, no entanto, mais imune ao ar dos tempos do que Leibniz (aspecto aparentemente desvalorizado por Solomon, como vimos). Com efeito a palavra energia estava na moda na altura em que Young a tomou, e o significado implícito de actividade não terá sido estranho à escolha de Young para designar uma grandeza física, até aí denominada de "força viva", exibindo, portanto, uma carga antropomórfica que não satisfazia Young.

Não é ainda aqui que a palavra energia atinge a sua consagração em contextos científicos, o que só acontecerá a meados do século XIX, como veremos.

O contacto dos contextos científicos com o conhecimento geral não é, na época, promovido pela escola pois a ciência não é obrigatória no ensino secundário, como refere Solomon. Contudo, diz Solomon, “the nineteenth century was a prime time for the popularization of science”⁴ (p.12). E exemplifica recorrendo a um texto de Balfour Stewart sobre a energia. Esta incursão não é para colocar em evidência o seu valor pedagógico mas sim para mostrar que:

“Stewart is deliberately taking down the forbidding precision of physics. He uses a frankly outrageous comparison between the measurement of energy and unquantifiable personal enterprise” (p.13).

É esta perda de precisão que permite a aproximação ao senso comum. Como diz Solomon:

“Only when the meanings of a concept become flexible enough to be used metaphorically can they enter the realm of general knowledge and so become culturally important” (p.13).

Solomon faz estas incursões sempre com o objectivo de melhor caracterizar o conhecimento geral. As incursões que faremos a alguns textos desta natureza, nomeadamente às “Popular Scientific Lectures”, contrastam com esta abordagem. Elas permitem-nos alimentar o estado de “romance” e o estado de “generalização”, e por isso mesmo são valiosas do ponto de vista formativo.

Através da recolha de conversas entre adultos, Solomon identifica no grupo que ela designa por “modern group of adults” alguma ligação entre energia e trabalho, embora poucos utilizem a palavra trabalho. Os exemplos que ela dá, e que correspondem, do seu ponto de vista, a uma utilização mais moderna da palavra não são tanto um resultado de uma certa contaminação científica mas resultam mais da contaminação técnica, que, evidentemente, está mais próxima das pessoas.

O que nos impressiona é a valorização feita por Solomon de uma determinada linguagem desfavorecendo outras, talvez mais interessantes.

Se o ser moderno, relativamente à utilização da palavra energia, implica uma contaminação da linguagem comum com a linguagem emergente que diz os novos objectos da técnica - numa relação implícita ou explícita à noção de trabalho - então a utilização da palavra energia feita pelos românticos, contemporâneos da máquina a vapor, parece corresponder a uma categoria de não moderno. Ora, do nosso ponto de vista, ela permite dizer muito mais, pensar mais.

⁴ Com efeito assim foi. Houve textos de divulgação, anteriores ao desenvolvimento do conceito de energia, que prepararam o terreno para a germinação de uma ideia de conexão entre todos os fenómenos, como é o caso do texto de Mary Sommerville e de Grove. Ver a este propósito texto de Kuhn.

Exemplo disso é a utilização desta palavra feita por Whitehead (ver *Adventures of Ideas*) no desenvolvimento das suas ideias.

As noções dos alunos

Toda a caracterização do conhecimento geral é preparatória do item fundamental para a investigação nesta área: as noções dos alunos.

Há muitos estudos centrados sobre as noções dos alunos, como já referimos anteriormente. Os resultados das pesquisas efectuadas por Solomon são, por ela, agrupados no esquema que reproduzimos seguidamente:

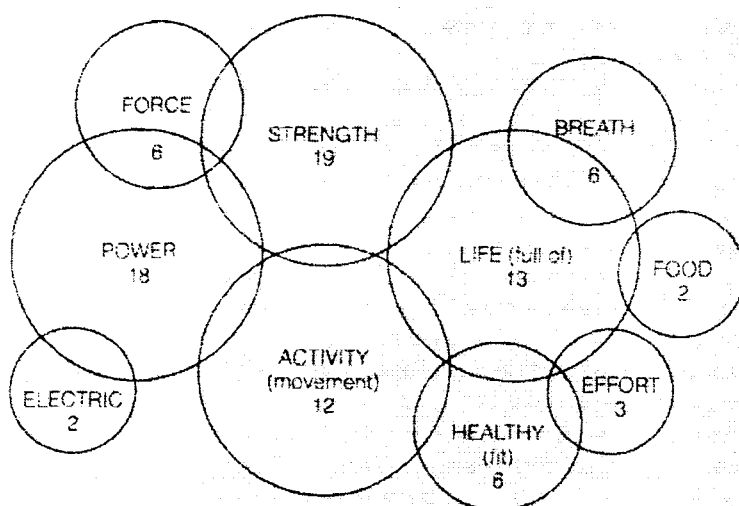


Figura 2.2 Categorização das noções dos alunos de energia, retirada do livro *Getting to Know about Energy*, p.42.

Relativamente a este esquema Solomon mostra a sua estranheza relativamente ao item da vida e da respiração. Diz ela:

"The most unexpected feature of this cluster was the high score on 'life' and the related term 'breath'. Sometimes these two words were used in tandem. The expression 'full of life', or more charmingly 'full of life and joy' may be metaphorical descriptions for 'being energetic', which seemed to be the underlying sense of many of these sentences. What was

more surprising was the number of children, both in this year group and the next, who wrote simply, 'Energy is the source of life'" (p.42).

Esta utilização da palavra é explicada por Solomon por uma reminiscência daquilo que ela designa por "the out-dated notion 'vital force'".

Solomon dedica, então, mais atenção a este domínio de significação, tão presente nos jovens alunos (11, 13 anos). Esta noção insere-se na categoria identificada anteriormente, na caracterização do conhecimento geral, como força viva. Com efeito, é o rótulo de vivo que inclui uma grande parte das frases dos alunos sobre energia. Dentro desta categoria há, como refere Solomon, muitas diferenças. O que Solomon tenta colocar em evidência, como resultado das suas investigações, é o seguinte:

"The word 'energy', as we have seen, slips easily into the meaning of 'energetic'. The new term is an adjective instead of a noun, and it has a far stronger human connection than has 'energy'" (p.53).

É esta noção que Solomon tem em mente quando propõe algumas actividades que são pensadas no quadro de uma aprendizagem como extensão do conhecimento geral.

Relativamente à possibilidade de a energia ser mensurável Solomon destaca o seguinte resultado:

"The results showed that only 28 per cent of those who gave entirely human associations for energy thought it might be measurable: whereas 72 per cent of those giving at least one non-human example of energy thought it was the kind of thing that could be measured, even though they had not yet been taught how to do so. It is tempting to infer from this that children who had an almost exclusively human view of energy were thinking about the quality of energeticness rather than energy" (p.54).

Esta conclusão é susceptível de alguma discussão. Solomon apenas está a pensar em qualidades físicas, esquece a espiritualidade ainda hoje muito associada à palavra energia.

Por outro lado, Balfour Stewart "mostra" com uma linguagem de senso comum como se poderá "medir" a energia de um homem enérgico, parecendo ser uma ideia latente no conhecimento geral.

Alguns dos exercícios feitos com os alunos pretendem mostrar, por um lado, a ausência de desconforto na coexistência de significados contraditórios, dependentes dos contextos; por outro lado a diversidade de estratégias psicológicas utilizadas nas respostas às questões

formuladas. Solomon refere, relativamente a este último aspecto, a diferença entre os alunos que efectuam generalizações e aqueles que apenas nomeiam formas de energia.

Tudo isto para mostrar a necessidade de introdução de instrumentos que fomentem o consenso, ausente quando tratamos do senso comum. O instrumento que Solomon põe em cena é a discussão.

Será a partir da discussão em torno de uma questão - por exemplo, o que é a energia? - que Solomon promove a construção de esquemas que sejam vestígios dessa discussão. Deixamos aqui dois exemplos de vestígios da discussão em torno do que é a energia e em torno da possibilidade de armazenamento da energia.

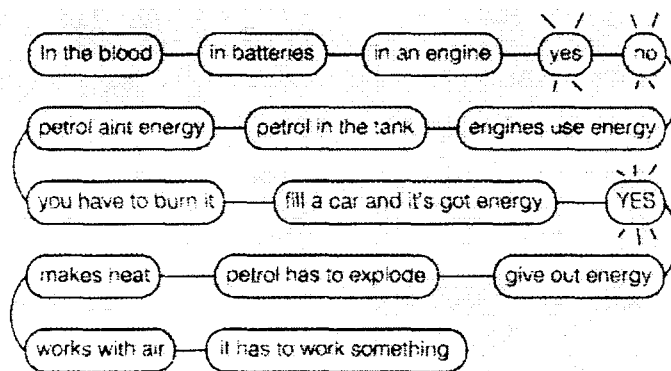


Figura 2.3 Vestígios de uma discussão sobre energia (1), em *Getting to Know about Energy*, p.72.

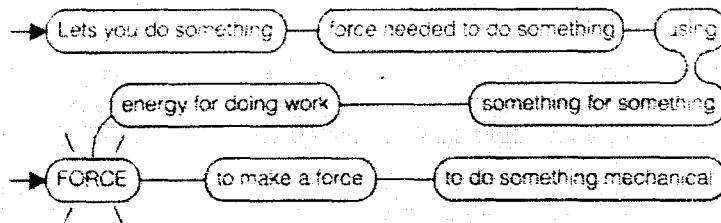


Figura 2.4 Vestígios de uma discussão sobre energia (2), em *Getting to Know about Energy*, p.69.

Este percurso é essencial para compreendermos as abordagens de Solomon ao ensino e à aprendizagem da energia.

Solomon dispõe, hoje, de estudos sobre o senso comum que não existiam no tempo de Ernst Mach. No entanto, o discurso de Mach sobre o senso comum e sobre a sua relação com o pensamento científico parece-nos continuar a ser de grande valor para as questões do ensino da física. O pensamento de Mach fará contraste com a ideia de Solomon de que a lei da causalidade não está incorporada no senso comum.

Não contestamos, obviamente, o pensamento de Solomon mas tão somente alguns dos seus efeitos.

2.4.3 Segunda Bifurcação

Da dualidade da noção de aprendizagem à unidade do gesto educativo (noção whitehediana)

A noção de aprendizagem em Solomon é encarada de um ponto de vista dual: ou como extensão do conhecimento geral - interessando-se, essencialmente, pela explicitação do conhecimento tácito e deixando, por vezes, a sensação de que não há nada de novo - ou como corte com o conhecimento geral - interessando-se unicamente pela instrução nos conceitos e teorias científicos aceites.

Solomon distingue, no que diz respeito à temática da energia, três vertentes na educação:

"Energy education for the citizen.

Energy education for vocational training.

Energy education for acquiring scientific knowledge" (p.78).

Ela estabelece um corte entre as duas primeiras e a terceira. Neste sentido escreve:

"The third goal of energy education is academic. This purpose, seemingly unrelated to everyday living, makes it substantially different from the other two, and implies that this type of education may not follow on smoothly from socially acquired knowledge. Indeed, the characteristics of scientific knowledge contrast so sharply with those of common-sense knowing, that this kind of education presents special problems and will be treated separately" (p.79).

Quando chegamos a este ponto sentimos uma certa contradição com a ideia explicitada por Solomon de encarar o ensino das ciências como a transmissão de uma cultura. Se assim o fosse não veríamos razões para que uma educação para o cidadão deite fora aspectos relacionados com o conceito científico. Recorrendo ao que escreve Solomon sobre a educação do cidadão nesta temática sentimos uma grande insatisfação. Diz ela:

"The first of these [energy education for the citizen] begins with general knowledge and leads on towards the kind of action that citizens need to take to regulate their own

'consumption' of energy, and to comment on public energy policy. It will have relevance both to the household fuel bills and even, on occasion, to the ballot box" (p.79).

Quão longe estamos de Whitehead. Dizia ele "necessity is the mother of futile dodges". A educação do cidadão perspectivada por uma necessidade prática parece-nos pouco estimulante.

Há que distinguir em Solomon fases diferentes e, obviamente, há aspectos muito interessantes nesta sua obra.

Ela começa por abordar esta vertente da educação para o cidadão como uma extensão do conhecimento geral. Na parte final do livro volta a centrar-se nesta vertente, saindo do âmbito restrito da sala de aula, e fazendo algumas incursões históricas interessantes.

A aprendizagem como extensão do conhecimento geral

Solomon recorre aos conceitos de "embedded knowledge" e "disembedded knowledge" caracterizados por Mary Donaldson. Escreve Solomon:

"Mary Donaldson (1978) has written eloquently about primary school children, and the difficulty they find in solving abstract theoretical problems, compared with their deep skill with the same kind of problem set in a real context that can be readily visualized and understood. She called the two kinds of thinking 'embedded' when it was in a familiar context and 'disembedded' when it was not" (p.78).

Esta investigadora sente necessidade de propor em vez de duas categorias, três categorias. Nesse sentido escreve:

"we have already heard untutored secondary school pupils giving definitions of energy as 'What makes things move', and imagining it as a stored and passive entity. This is a kind of disembedded knowledge, but it remains different from the abstract knowledge of science if it is just added to the general stock of knowledge alongside other examples. The purpose and intention of disembedded knowledge is not abstraction for its own sake. Rather it is that the conceptual term, or mathematical formulation can encompass many different contexts. If abstract ideas, like energy as the potentiality for action, are used without any effort to build them into a system which might overarch a range of everyday energy contexts, then it will not be a radically new kind of thinking" (p.80).

O que Solomon parece querer diferenciar é o tipo de abstracção que vai emergindo espontaneamente e a abstracção forçada associada ao conhecimento científico, que exige um esforço de construção.

Com este raciocínio Solomon pretende explicar a sensação com que os alunos ficam de que não aprenderam nada. Uma tal sensação explica-se, de acordo com esta autora, pelo seguinte facto:

"the internal structure of the new scientific knowledge has not been recognized, but only the bits and pieces of the information it provides" (p.80).

No que diz respeito ao ensino da energia esta sensação foi vivida por nós na nossa actividade de observação de aulas. Perguntávamo-nos como é que os alunos poderiam ficar entusiasmados se aparentemente o movimento de ideias era quase nulo⁵. A estrutura do conhecimento encarada como um aspecto separado das ideias não nos parece ajudar a concretizar aquilo que designámos por aula voadora. Não será de admirar que os alunos, tendo a sensação do "déjà vu", digam que a aula é aborrecida. Como diz Solomon:

"the new knowledge [is absorbed] as an unproblematic 'fact', not needing explanation. It was added to their general stock" (p.89).

Se o novo conhecimento é apresentado de uma forma não problemática como poderá ser absorvido de outra forma?

Relativamente à educação do cidadão Solomon escreve:

"it can do little for the plight of citizens to know exactly what 'kinetic energy' and 'potential energy' mean, and in chapter 8 we shall see that a knowledge of the Conservation Principle can sometimes do more harm than good for learning about the generation and use of energy" (p.83).

A este pensamento opomos o pensamento de Whitehead, nomeadamente o que transcrevemos na página 68 (What education has to impart is an intimate sense for the power of ideas, for the

⁵ Os alunos podem, no entanto, ficar entusiasmados sem que nada de interessante aconteça ao nível das ideias. Foi o que aconteceu quando assistíamos a uma aula do 8ºano de escolaridade sobre o som. A aula começa com um rádio, passa, depois, para a utilização de um telefone artesanal (com um fio vibrante), passa ainda para outras situações. Há movimento, há interesse, há fruição mas o conhecimento físico correspondente nunca chega a entrar em cena. A questão fulcral nunca aparece: porque é que isto acontece?

beauty of ideas, and for the structure of ideas, together with a particular body of knowledge which has peculiar reference to the life of the being possessing it).

No que diz respeito ao interesse dos adultos pela ciência Solomon distingue duas épocas: o século dezanove e os dias de hoje. Nesse sentido escreve:

"Scientific and literary clubs flourished in the nineteenth century and certainly numbered amongst their members some who made real contributions to scientific thought. Hermann von Helmholtz, who published the first unequivocal statement of the Principle of Conservation of Energy, was himself a self-taught amateur in respect to his impressive knowledge of physics. For such dedicated amateurs - they can hardly be called a 'public' - the appetite for science is such that they are quite prepared to absorb the abstract discipline of scientific thought. They certainly would not have added this hard-won scientific knowledge to their general stock of knowledge, as though it were structureless pieces of information. For them science was an end in itself, not a response to personal crisis or risk in the circumstances of daily living.

Today it seems that science affects life far more than ever before. That cliché may well be untrue in almost every respect, except in the public rhetoric. But that is precisely where it has the most powerful driving effect on the average adult's urge to learn. They are being told continuously that their quality of life is being adversely affected by science and technology, and it is out of this anxiety they seek more information" (p.84).

Assim, a educação para a cidadania, quer a escolar quer a do grande público, desenvolve-se em torno de uma concepção de aprendizagem como extensão indelével do conhecimento geral e constitui-se como um conjunto de respostas a necessidades essencialmente práticas.

No contexto de um ensino da energia, a que subjaz uma noção de aprendizagem como extensão do conhecimento geral, Solomon toma como ponto de partida a ideia de que a energia representa a qualidade de ser enérgico e parte daí para a criação de situações de aprendizagem coerentes com a perspectiva de alargamento do conhecimento geral. Nesse sentido escreve:

"Starting from 'energeticness' suggests that laboratory experiences where the children can 'feel' their own energy at work would be just right. We shall need practical projects where the children set a machine going by transferring their own energy to it (winding up), where

a weight is raised a measurable distance, and where the energy can be held or stored in a fairly obvious way by the device. I am indebted to my colleague Brian Woolnough, a collector of wonderful toys, for 'feeling' your way into physics, for an introduction to hand-driven dynamos which became heavy to turn as they were connected to an electric circuit. Energy could almost be felt flowing out of the body and being drawn through the dynamo into the electric circuit" (p.94).

Com estas propostas Solomon pretende, dar expressão ao conhecimento tácito para lhe juntar algo sem que, contudo, sejam atravessados os portais do conhecimento científico. Nesse sentido, os exercícios práticos referidos deverão ser complementados com a intervenção do professor. Com efeito, Solomon escreve:

"Before, during and after each of these exercises the teacher will be using phrases like 'transferring your own energy', 'Have you measured what the energy can do?', and 'Is there stored energy in it? - flowing through it?'" (p.94).

Mais adiante Solomon esclarece os objectivos conceptuais deste tipo de exercícios:

"The practical exercises will be bound to have conceptual objectives such as the storage of 'passive' energy and energy transfer from person to machine. (...) The aim of all this activity is to get the pupils to practise using these ideas, so that they make their own by play and exploration" (p.94).

Estes exercícios poderiam, quanto a nós, ser aproveitados para o desenvolvimento de uma ideia de conexão entre diferentes fenómenos, preparando o terreno para uma ideia de conservação. Esta bifurcação nas aprendizagens, preconizada por Solomon será contrastada através de exemplos da própria história do desenvolvimento do conceito, nomeadamente recorrendo ao pensamento de Mayer.

Com efeito, Solomon, neste contexto, apenas pretende criar uma certa sensibilidade ao desperdício na utilização da energia (educação do cidadão), como se depreende da continuação do texto.

Fica, portanto, de lado o papel da energia como visão unitária da natureza, papel similar ao desempenhado na visão das artes. Tal como escreve Isabelle Stengers (1997):

"L'idée de conversion généralisée entre «forces» fut d'abord une idée esthétique, qui communiquait avec la mise en scène d'une «force indestructible» donnant son unité

permanente à la nature. En tant que telle, cette idée n'a pas, à proprement parler, d'auteur: on peut la faire remonter aussi bien à la «force vive» leibnizienne qu'à la philosophie de la nature post-kantienne. La nouveauté qui marque les premières décennies du XIXe siècle est la possibilité de voir l'ensemble des faits anciens, telle la combustion de la bougie ou la réaction chimique dégageant de la chaleur, nouveaux, telles l'électrolyse, la pile électrique, la machine à vapeur, comme affirmant de manière unanime la convertibilité universelle. Un ensemble de «faits» dispersés dans des pratiques distinctes, ayant reçu des interprétations distinctes, peut se trouver unifié s'il est vu comme un «réseau» assurant la conversion de toute forme de force (ou d'énergie) en toute autre. Il ne s'agit pas là d'une «thèse» qui aurait été négociée parmi les différents protagonistes, mais d'une «manière de voir», d'une esthétique, qui *rassemble* précurseurs ou auteurs d'énoncés que nous jugeons «enfin scientifiques», et qui situe sur le même plan médecins, ingénieurs, météorologues, physiciens spécialistes du mouvement, de la chaleur, de l'électricité, du magnétisme: n'ont-ils pas tous affaire à des processus de conversion?" (p.35, 36).

A história da energia está ligada ao desenvolvimento de uma convicção geral (ver artigo de Kuhn, ver tese de Mary Sommerville, ver texto de Crosbie Smith e Norton Wise) e, portanto, está ligada a uma cultura. A riqueza da sua história permite-nos colocar em cena diferentes "espectáculos do mundo" possibilitando a concretização da fruição, aspecto fundamental no pensamento de Whitehead sobre educação.

Alguns aspectos do desenvolvimento histórico deste conceito são preciosos para a discussão da dicotomia inscrita no texto de Solomon: extensão do conhecimento geral/corte com o conhecimento geral. Se já exprimimos o nosso desacordo quanto à bifurcação radical nas finalidades do ensino-aprendizagem da energia (para o cidadão/para a aquisição de conhecimento científico) esse desacordo propagar-se-à, necessariamente, às noções de aprendizagem postas em jogo.

O desenvolvimento histórico do conceito mostra bem a sua especificidade, que deveria ser tida em conta nas abordagens didáticas ao conceito. Isabelle Stengers, por exemplo, faz um contraste com o objecto mecânico. Assim, escreve:

"L'objet mécanique avait le pouvoir de dicter la manière dont il devait être défini, et c'est en cela d'abord qu'il était intéressant. Il permettait de rassembler autour de lui ceux qui inventeront la mise en représentation mathématique qu'il autorise, mais il ne permettait pas de rassembler des phénomènes disparates, de mettre le monde en représentation. Il doit au contraire être sélectionné au sein de ce monde, puis isolé et purifié. En d'autres termes, il est, en ce qui concerne son existence même d'objet expérimental, radicalement dépendant

de nos intérêts et de nos pratiques: la bille doit être ronde, le plan incliné lisse, et il vaudrait mieux que l'air s'absente pour que soient satisfaites les exigences dont dépend le pouvoir de la représentation mécanique. Il en va tout autrement de l'énergie que conserve, à partir de 1850, n'importe lequel des processus naturels, qu'il soit mis en scène par l'homme ou repéré dans la nature (y inclus bientôt les étoiles)" (p.34).

Em síntese, diremos que a incursão histórica nos faculta elementos que nos permitem discutir algumas teses didáticas. No que diz respeito ao ensino da Física poderíamos dizer que há uma didática mais ou menos uniforme que cobre todas as temáticas. A especificidade dos conceitos não é, em geral, considerada.

Quer se trate da educação do cidadão, quer se trate da aprendizagem do conhecimento científico pensamos ser o ritmo, tal como foi definido por Whitehead, a chave adequada para qualquer gesto educativo. As diferenças jogar-se-ão na importância dada a cada uma das fases, mas, como dizia Whitehead, um aumento de importância da fase de precisão implica, também um aumento de importância da fase de romance.

A aprendizagem do conhecimento científico

Ao abordar os problemas de aprendizagem do conhecimento científico Solomon vai demarcar-se daqueles que colocam a tónica na mudança conceptual defendendo uma abordagem que tem por base a separação de dois domínios de pensamento: o mundo da vida e o mundo do conhecimento científico. É a natureza diferente destes dois mundos de pensamento que lhe vai permitir equacionar, numa determinada perspectiva, os problemas de aprendizagem do conhecimento científico. Solomon começa por se interrogar da seguinte forma:

"If children, and adults too, learn scientific information almost painlessly when it is absorbed directly into the fund of general or life-world knowledge, why do they not succeed equally well in school science lessons? What makes formal scientific knowledge so much more difficult to learn? And does it have to be quite so different from common-sense knowing?" (p.98).

Para responder a estas questões Solomon faz apelo à motivação intrínseca associada à aprendizagem geral, ausente da aprendizagem do conhecimento científico. Com efeito ela escreve:

"The purpose and need for information, which characterized general knowledge learning, is missing. It is not simple information, but a whole way of thinking which is to be striven for, and only a deep commitment to science can make that a personal goal. This removal of practical need as a motivation to learn, is caused by another difference: scientific knowledge is not related to any specific context. It is true that the abstract theories and concepts of physics demonstrate their power most clearly when they are used to solve practical problems; yet they themselves are undeniably removed from the objects of daily life" (p.98).

Assim, a ausência de uma necessidade prática como motivação para a aprendizagem do conhecimento científico a juntar às dificuldades inerentes à sua especificidade estarão na base das dificuldades referidas. Não haverá outro tipo de motivações, quanto a nós mais importantes, e interesses que possam tornar a aprendizagem da ciência aliciante?

Uma abordagem do conhecimento científico como "seco e frio" não fará mover ninguém, nem os próprios cientistas. Como poderemos esperar que ele faça mover os nossos alunos? Mas é esse conhecimento que Solomon põe em cena. Com efeito, ela escreve:

"The major difficulty, which is met again and again in the teaching of physics, is the leap from the life-world domain of affective reactions and alternative context-dependent meanings, to uniquely correct definitions of concepts unrelated to value or object in the domain of abstracted scientific knowledge" (p.99).

Ora, como afirmava Whitehead, sem juízos de valor não teria havido ciência (ver p.75 da tese). Banir os juízos de valor da educação científica não levará à morte de todo o interesse na aprendizagem das ciências?

A descontextualização necessária

A perda de ligação ao contexto que é necessário promover na aprendizagem do conhecimento científico é ilustrada por Solomon com o seguinte exemplo:

"The 'system' may be an old woman falling painfully down stairs, or it may be a gently flowing mountain stream. For energy purposes, these two situations may become quite

indistinguishable. It is not so much, as the text above states, that the attention is focused upon the system, but that the attention is focused only on the energy within the system: everything else is ignored. In this process no detail, no human or other context, is supposed to divert the attention" (p.100).

Se é verdade que a energia nada diz sobre a natureza do sistema, isso não quer dizer que não haja juízos de valor associados ao desenvolvimento do conceito. Lembremos a história de Planck sobre o seu primeiro contacto com a conservação da energia: a impressão que esta lhe causa é determinante no caminho intelectual empreendido por Planck.

O que é paradoxal é que se pretenda, por um lado, uma descontextualização e, por outro lado, uma aplicação directa a situações contextualizadas. Os exemplos, apontados por Solomon, com que são confrontados os estudantes de 14-15anos a quem foi ensinada a noção de trabalho são disso ilustrativos. Por exemplo, quando é pedido a um aluno se está a ser realizado trabalho quando uma mulher ceifa o campo de trigo, o que se pretende? Ver que não há dificuldade em considerar aí realização de trabalho uma vez que vai no sentido de alguém que trabalha, no sentido do esforço? Os gestos da ceifeira são ricos e suficientemente complicados para que a sua compreensão seja assim tão óbvia. Se, por um lado, Solomon parece estar preocupada com um conhecimento despido de todos os valores - como é o caso do conhecimento físico - por outro lado promove discussões que estão muito afastadas da forma de discussão dos físicos. Começa por colocar a questão de uma forma ambigua suggestionando tudo o resto. Em física, quando se fala de trabalho realizado fala-se de trabalho realizado por uma força. Ora no enunciado da questão é omitida a palavra força. Solomon parece entrar numa certa contradição: por um lado utiliza estes exemplos para mostrar quão difícil pode ser a aprendizagem do conceito de trabalho, pois os alunos regem-se por um conceito contextualizado não pensando da forma abstracta inerente ao pensamento científico; por outro lado, mais adiante, vai defender dois domínios diferentes do conhecimento mostrando como é necessária uma palavra chave para desencadear o pensamento num ou noutro domínio.

Solomon pretende mostrar que recorrer à noção de trabalho poderá não ajudar, no que diz respeito ao ensino da energia, pois esta noção acarreta consigo alguns problemas de aprendizagem que ela tenta colocar em evidência. Relativamente a este aspecto a incursão histórica é valiosa, pois põe em relevo aspectos muito mais importantes da utilização da noção de trabalho na construção do conceito de energia. Veremos detalhadamente o caso de Mayer a este respeito.

Contudo, Solomon não se opõe a que se comece com a noção de trabalho. Nesse caso:

"the teacher explains how it is that the operation of work transfers energy from one 'system' to another - from a player to a football, or from a battery to a lamp - then names for the class some of the different forms of energy - kinetic, potential, chemical, electrical, nuclear, etc."

A transferência de energia é, portanto, o aspecto primordial. Assim sendo, a ligação à aprendizagem como extensão do conhecimento geral é evidente.

Surge, então, a necessidade de nomear diferentes formas de energia. Como escreve Solomon:

"One of the intriguing new ideas for the pupils is that energy can so change its manifestation. It is unpopular in some educational quarters to talk about the transformation of energy from one 'form' to another because it means that energy is not sufficiently abstracted while it is still referred to with these descriptive adjectives. However, the pedagogic value of such words cannot be doubted. If the decontextualization of work already presents problems for some pupils, the complete abstraction of energy, which has so circuitous a definition, is bound to be harder still. Naming the forms of energy serves, at the outset, to help pupils identify the energy being transferred between systems" (p.102).

Solomon desvincula-se, e estamos com ela, dos puristas que temem tudo o que possa contribuir para uma noção de energia como substância. No entanto, parece-nos que ela põe ao mesmo nível, no que diz respeito à contextualização/descontextualização do conhecimento, os exemplos da vida corrente e os aspectos fenomenológicos. Estes tiveram um papel determinante na construção do conceito científico.

Mais adiante, Solomon complementa as suas ideias sobre um ensino da energia que começa por explorar os aspectos da transferência e da transformação. Assim, escreve:

"At the beginning energy is probably thought of as something which can be transferred, passed on, carried by, or transformed. These are the words that the teachers have used, indeed it is hard to know how else they could begin to speak about energy; but as they do so, similes to 'parcels' or 'magical' changes may begin to form in the children's minds. Some physics educators (e.g. Schmidt, 1982) have recommended making this explicit by working through a whole chain of 'energy carriers'. To others (e.g. Warren, 1986) the idea is anathema. It seems as if almost every piece of educational research into children's learning of energy laments the fact that pupils speak of it as though it is 'stuff'" (p.106).

E continua, a propósito da literatura sobre o ensino da energia:

"The educational literature is full of complaints or accounts of how little students seem to understand the official energy concept (e.g. Warren, 1986; Watts, 1983). There are also accounts of new teaching strategies which seem to be going well but, unaccountably, have little success in terms of 'correct' ideas delivered in post-course tests (e.g. Duit, 1984,,; Brook and Driver, 1986:78; van der Valk *et al.*, 1988).

In chapter 2 this problem of the persistence of children's notions was discussed. 'Conceptual change' is still the unproblematic title of many educational papers and it does seem curious that such a history of failure has not prompted an effort to construct some more viable explanation for what is happening. Where linguistic effects continually reinforce life-world meanings, as is undoubtedly the case with energy, the situation will no longer be one of *do they know or don't they?*, or *has conceptual change taken place?* Old ideas simply cannot die out and be replaced if they are perpetuated through daily talk; and indeed it would be a poor return for a short school course on energy if pupils found themselves unable to understand its life-world meanings" (p.106 e 107, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

O pensamento de Solomon desenvolve-se por contraste com a "escola" da mudança conceptual e aí não poderemos se não estar de acordo com ela. Vejamos, então, qual é a sua proposta.

Aprender a cruzar os dois domínios de conhecimento

Se, relativamente à noção de energia, a questão a colocar não é a de saber se os alunos sabem ou não sabem, como defende Solomon, qual é, então, a questão?

De acordo com Solomon a questão a colocar é porque é que os alunos, quando respondem a questões sobre energia, escolhem o conjunto inadequado de significados em vez do adequado, partindo ela do princípio de que existem dois conjuntos diferentes de ideias? Como escreve Solomon:

"If our pupils are to continue talking sensibly about energy with friends and family they will have two quite different sets of ideas about energy co-existing in their minds" (p.108).

E mais adiante acrescenta:

"There are not just two different meanings but two quite different domains of knowledge involved" (p.108).

Solomon parte, portanto, da ideia de que existem armazenados, para conceitos como o de energia, dois domínios de conhecimento, de naturezas diferentes. Nesse sentido escreve:

"All teaching and learning rests upon memory and recall, but in the case of energy the process is more complicated. Now it is the retrieval of the 'right' meaning is the problem. Perhaps it would not be surprising if the two meanings got muddled up, but if they have been learnt and used in quite different situations, as indeed they have, and they belong to different ways of thinking, there is evidence from studies of memory that they might well be separately stored, and be triggered for recall by different cues. Tulving (in Brown, 1960) and others have shown that the context of learning affects the ability to retrieve far more than it does the power of recall. We may have the meaning in our memory but lack the cue which summons it to mind. It is as though the address systems of the two different kind of meaning are different" (p.108).

Solomon mostra a partir de resultados de investigação como alguns alunos, alguns meses depois de terem explorado as noções de trabalho e de energia, retomam a linguagem corrente. A este propósito escreve:

"Within a few months it was sad but not very surprising to find that many of the less able pupils appeared to have forgotten the new physics meanings. Once again 'work' just meant jobs, and 'energy' just meant being energetic" (p.108).

Com a nova interpretação explicativa de Solomon a questão não está na perda de conhecimento mas sim na forma de desencadear o processo adequado. Com efeito escreve:

"If the pupils had been storing these physics definitions separately from the life-world ones, they might simply need a different cue. Two different questions about energy were now put to the pupils. In the first they had to give three different 'examples of energy'. In the second they had to name the 'energy changes' that took place. This second question added a recognition cue through the use of physics terminology - 'energy changes'" (p.109).

A partir das respostas a estas questões Solomon conclui:

"These data begin to sketch a picture of separately stored stocks of knowledge which can be brought to the surface by different triggers. Apparent forgetting may thus be no more than the lack of the right recognition key to unlock the memory file.

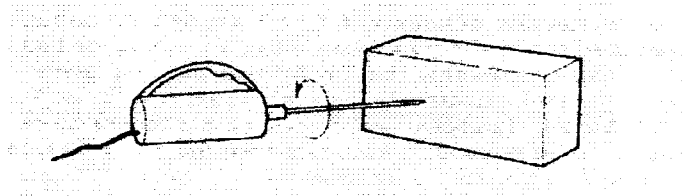
This impression was reinforced by evidence from individual interviews" (p.109).

Para além desta interpretação explicativa Solomon pretende contribuir com elementos daí decorrentes para uma aprendizagem mais adequada.

Nesse sentido escreve:

"Not only the two kinds of meanings separately stored in the brain - the mere fact that they were learnt in such different circumstances almost ensured that this will be so - they also involve radically different kinds of thinking, the scientific and the life-world.

The best way to illustrate what this might mean is to set a task which can be tackled in two different ways corresponding to the two different knowledge systems" (p.111).



Assim, Solomon propõe como questões a explorar as seguintes:

Figura 2.5 Berbequim eléctrico retirado do livro *Getting to Know about Energy*, p.111.

"an electric drill, working at a rate of 500 watts, is used to drill a hole in a piece of wood. How much work could it do in 20 minutes? *What energy changes are taking place?*" (p.111).

A segunda questão requer um movimento do mundo da vida - sugerido pela figura - para o mundo científico.

Com base nas respostas a esta questão Solomon define três níveis:

- "1. By giving the life-world causes of each part of the drill's working, e. g. the electricity makes the drill rotate which makes a hole in the wood and makes heat by friction.
2. By giving the formal sequence of scientific redescriptions of the energy, e. g. electrical energy - kinetic energy - heating energy.

3. By giving both kinds of explanation alternately and relating them to each other, e. g. 'Electrical energy goes into the drill and is turned into kinetic energy as the drill goes round, then friction between the drill and the wood turns this energy into heat energy'" (p.111).

O modelo de aprendizagem sugerido por Solomon valorizará especialmente o terceiro nível pois é nesse nível que se aprende a passar de um mundo de conhecimento para o outro. Com esse pressuposto será tentado no ano seguinte um modelo de ensino centrado num certo treino nesta passagem:

"Successful crossing over and back from one domain to another may indicate that more durable learning has taken place, and, perhaps, that a deeper level of understanding has been achieved.

In the following year, when all the pupils were taught to answer this kind of question in both ways, deliberately crossing between the two domains, their overall level of success in the two tests increased dramatically, from 57 per cent and 86 per cent, to 78 per cent and 96 per cent. A somewhat similar effect was achieved by Brook and Wells (1988) who wisely encouraged their pupils to discuss each energy change in groups thus ensuring that pupils used both domains of knowledge. In this way social construction could aid in the difficult crossing from the life-world to the science world of meaning and back again" (p.112).

Nesta abordagem, o conhecimento científico parece emergir sem que haja uma situação problemática, não acrescentando nada ao conhecimento do "mundo da vida", não evidenciando nenhum aspecto interessante. Na verdade, a ideia que transparece sobre a natureza do conhecimento científico parece ignorar a pertinência e o interesse dos problemas criados e trabalhados.

No caso trabalhado das transformações de energia onde é que está o interesse em passar de uma linguagem para outra?

Solomon afirma:

"Of one thing we may be sure, this movement between the two contrasting ways of thinking requires dedicated practice rather like athletic training. But if our pupils are to be allowed a glimpse of how science constructs its concepts and explanations, then such exercises may be the only way to achieve the necessary mental insight and flexibility" (p.115, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Quão longe estamos do pensamento de Whitehead preocupado em manter a chama do romance sempre presente na fase da precisão. “We must beware of presenting science as a set of pretentious names for obvious facts”, escrevia defendia Whitehead (1948, p.144). Ora, o exemplo do berbequim não é mais do que a imposição de nomes pretenciosos para factos óbvios.

Quando Solomon refere que esta é a única via para um pequeno vislumbre de como a ciência constrói os seus conceitos será, para nós, uma ideia que suscita bifurcação. Com efeito, o nosso trabalho materializa uma bifurcação possível defendendo a cultura histórica como ingrediente para alguns vislumbres sobre a natureza do conhecimento científico e como instrumento para o desenvolvimento do gosto pelas ideias e do culto pelo conhecimento. Como escreve Maria Zambrano (1993- “A Metáfora do Coração”, ed. Assírio & Alvim):

“O conhecimento não é uma ocupação da mente, mas um exercício que transforma a alma inteira, que afecta a vida na sua totalidade” (p.93).

2.4.4 Terceira Bifurcação

Das dificuldades da aprendizagem da Conservação da Energia ao valor formativo da Conservação da Energia

O aspecto da conservação é um aspecto determinante na construção do conceito científico de energia. A sua aprendizagem tem sido objecto de investigação pelas dificuldades que têm sido identificadas. Driver, Solomon e Duit dedicaram uma atenção especial à aprendizagem da conservação da energia. Duit mostra a necessidade de abordar a degradação da energia para que a noção de conservação possa fazer sentido. Alguns autores mostraram a necessidade de introduzir esta noção antes da conservação para que prepare o terreno para a compreensão desta. Nesta obra Solomon radicaliza a sua posição dando uma proeminência à noção de "running down" reduzindo o estatuto da conservação, como veremos.

O carácter abstracto da noção de energia

Solomon coloca em cena o contraste entre duas práticas de ensino da energia, Feynman e Warren, que têm por base o mesmo pressuposto: que se trata de um conceito abstracto.

Ela utiliza dois extractos de textos destes dois autores que passamos a transcrever:

"...there is a certain quantity, which we call energy, which does not change in the manifold changes which nature undergoes. That is a most abstract idea because it is a mathematical principle. It is not a description of a mechanism, nor anything concrete: it is just a strange fact that we can calculate some number and when we finish watching nature go through her tricks and calculate the number again, it is the same. (Something like the bishop on a red square, and after a number of moves - details unknown - it is still on some red square. It is a law of this nature.) *Since it is an abstract idea, we shall illustrate the meaning of it by an analogy.* (my italics) (Feynman, 1963)" (Solomon, p.119).

"Ideas must be presented clearly, explicitly and precisely. Any vagueness, ambiguity or contradiction causes endless difficulty... One can only begin to learn about energy when one understands work. Work is an abstraction from the quantities displacement and force. Force is an extremely difficult abstraction which can only be taught on an axiomatic basis.

Sensations resulting from the deformation of our bodies must not be regarded as 'experiences' of forces... (Warren, 1986)" (Solomon, p.119).

Relativamente a estas duas posições onde se situa Solomon?

Esta investigadora está com Warren no que diz respeito a começar pela noção de trabalho mas afasta-se dele quando Warren defende um ensino que garanta sempre a pureza abstracta de conceitos como estes, para que não haja mal-entendidos nem contradições.

Com efeito, Solomon afirma:

"In the school described in this study, formal teaching about the concept of energy began with the measurement of work, as Warren stipulated, but it included plenty of practical investigations which did involve body experiences like pulling a trolley up a slope. Earlier practical investigations had used other body experiences, like winding up a weight. Neither students nor adults begin their learning easily through abstractions, however 'precise and unambiguous'" (p.119, 120).

Relativamente à posição de Feynman, Solomon considera a analogia utilizada por Feynman muito interessante e está com ele quando "Feynman left the direct abstract route to understanding, and used an accessible analogy" (p.119). No entanto, Feynman não parece ajudá-la na construção de um caminho para o ensino da energia. Com efeito, ela mostra como Feynman não tem qualquer inibição em utilizar uma linguagem pouco rigorosa o que do ponto de vista de muitos educadores puristas pode ser perigoso. Ela refere como ele utiliza a expressão 'heating energy' e como com a sua analogia tem subjacente uma ideia de energia como substância.

Reflectindo sobre alguns destes aspectos, Solomon reconhece que só um professor com a genialidade de Feynman poderá ousar determinadas abordagens ao conhecimento, remetendo para segundo plano a obsessão do rigor, aspecto tão precioso para a maioria dos investigadores. Embora ela se demarque dos puristas, vai, também, demarcar-se de Feynman porque a maioria dos professores - sem a genialidade de um Feynman - precisará de pistas bem definidas, pela investigação, para o ensino desta temática.

Nesta posição estamos ao lado de Solomon para, logo de seguida, bifurcarmos. Com efeito, o caminho explorado por Solomon desenvolve-se, essencialmente sob a égide do psicológico. Com efeito, o conhecimento científico no âmbito desta temática não é, ele próprio, objecto de interesse. A criatividade e a ousadia serão atributos dos génios e não parecem poder ser encarados como produtos da investigação. Neste sentido, escreve Solomon:

"when professionals are teachers without the status of a Feynman, the knowledge is thought so little worthy of reliance that almost any educator seems to be able to over-ride its insights" (p.120).

A posição mais equilibrada de Solomon relativamente aos estritamente abstraccionistas não dará, contudo, efeitos mais interessantes. O facto de Solomon se centrar sobre as dificuldades de aplicação do princípio de conservação levam-na a retirar importância a este princípio. Na verdade, as suas ideias, resultantes da investigação realizada, apontam para o resultado seguinte:

"In the third and final year of research the Running-down Principle was taught before the Conservation Principle. Indeed, the latter was simply added on to the notion of running down as a simple as a simple balance sheet adjustment - 'but the total number of joules of energy remains the same'" (p.136, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Valorização do "Running Down"/ Desvalorização da Conservação da Energia

A dificuldade maior com a conservação da energia, relativamente aos outros princípios de conservação, prende-se com o facto de a energia se poder manifestar de formas muito diversas. Também é esse facto que faz dela um "objecto" tão interessante.

A respeito desta dificuldade escreve Solomon:

"It is for this reason that we name the different types of energy for our apprentice physicists so that they watch out for energy (a good deal more difficult task than Denis' Mum's effort to keep track of his bricks)" (p.121).

Este comentário relativamente à analogia utilizada por Feynman parece esquecer as virtudes de uma tal analogia ainda que, evidentemente limitadas, como acontece com todas as analogias. A obsessão de um pseudo-rigor pode ser fatal, no sentido em que pode obscurecer aquilo que é realmente importante.

Solomon afirma que é preciso desenvolver uma retórica forte:

"When chemicals ignite and engines move we need a strong rhetorical language which will speak of the light and heat, of the motion and noise, as the vivid concomitants and outcomes of this energy transfer. If we fail to provide this language our pupils will revert

to a life-world contemplation of simple 'burning' and 'chugging' (...) in which there is scant room for any energy concept at all" (p.121).

Esta retórica que põe em cena um número diversificado de manifestações de energia é imprescindível, do ponto de vista de Solomon, para que mais tarde quando se aplica a conservação da energia a processos que evoluem na direcção do 'running down' não se caia na explicação estereotipada de que toda a dissipação de energia se materializa através da transferência de energia térmica.

O desenvolvimento de uma noção de conservação necessita, de acordo com pensamento de Solomon, do desenvolvimento prévio de uma noção de armazenamento. Com efeito ela afirma:

"The first step in understanding conservation is to believe that energy is storable so that it can be thought as a continuing commodity" (p.121).

Esta ideia opõe-se à ideia de Beynon, que explicitámos na página 52. Solomon discute, em seguida, esta ideia através de alguns resultados de inquéritos feitos aos alunos. A dificuldade maior é enunciada desta forma:

"Possibly the running down of movement might well suggest that it can never be stored: friction is an inescapable reality of our world" (p.122).

Quando Solomon trabalha as dificuldades de aprendizagem da conservação da energia, mostra como os alunos embora enunciando correctamente a conservação a aplicam incorrectamente.. Por exemplo: caso do movimento da bola de golf (figura 2.6).



Figura 2.6 Imagem retirada do livro *Getting to Know about Energy*, p.127.

Muitos dos alunos vão dizer que a energia que desapareceu aparentemente ficou armazenada na bola. Será de admirar esta resposta? Em primeiro lugar poderá ser resultado da ênfase na questão do armazenamento, que não ter efeitos muito positivos. Em segundo lugar, e como refere Solomon, o princípio de conservação nada diz sobre a evolução do processo. Como

veremos, historicamente os anos que se sucedem à emergência da conservação da energia são anos de trabalho intenso sobre as transformações de energia e consequente aplicação da conservação da energia. Em 1887 Planck aponta o dedo a físicos que estão a cometer erros na aplicação da conservação da energia. A história do desenvolvimento do conceito está povoada de exemplos interessantes de aplicação da conservação da energia, como veremos.

Quando Solomon discutia a questão da necessidade da ideia de armazenamento da energia - e constatava que os alunos divergiam considerando uns que ela continuava sempre a existir e considerando, outros, que ela desaparecia - fez uma breve incursão histórica para dar pertinência à discussão não consensual desenvolvida em torno da noção de armazenamento da energia. Afirma ela:

"This question - whether energy continues to exist or dies away - was also answered differently in the history of science according to intellectual inclinations. Galileo's ideas often took off from some interesting practical observation. (...). For Galileo the notion that some function of height and motion might be conserved was inspired by watching how a pendulum, which hit against a peg, reached the same vertical height as it had started from, by another route" (p.123).⁶

Este exemplo de Galileu poderia, no entanto, servir para contestar a necessidade de uma noção de armazenamento.

Solomon faz de seguida uma incursão à psicologia piagetiana, que trabalhou a compreensão da conservação de algumas entidades. Esta incursão tem como finalidade mostrar como a conservação da energia estão associadas dificuldades acrescidas no que diz respeito à sua compreensão pois não dispõe da propriedade da reversibilidade, aspecto importante na construção da conservação do volume, por exemplo. A este respeito escreve Solomon:

"Unfortunately reversibility is *not* a property of energy transfer. Worse still, the conservation principle, which all educators see as central to the nature of physics, is poor in observational predictive power because it so readily changes its manifestations. For these reasons the second question posed about energy - the direction of its flow - is one with great significance and practical importance. Petrol burns, heat flows, and buildings topple. All such processes release large quantities of available energy but are *not*

⁶ A seguir, Solomon dá o exemplo de Leibniz que, um século depois de Galileu, vem introduzir a conservação por motivações meramente metafísicas, afirma Solomon. Como já referimos, Solomon faz apelo a Leibniz para conotar negativamente um pensamento tão rico. Esta incursão a Leibniz é para, através de um contraste, colocar em relevo o pensamento de Galileu.

reversible. Cognitive progress towards understanding conservation, via the common staging post of reversibility, is clearly not open to pupils in the field of energy" (p.125).

Solomon prepara, assim, o terreno para privilegiar o princípio do 'running down' considerado por ela mais próximo do mundo da vida e, portanto, mais facilmente compreendido. A conservação, que põe dificuldades psicológicas, será em termos didáticos um mero acessório do princípio do 'running down'.

Com o argumento de que:

"historical order, however, is no guide to how modern children might best learn about energy" (p.125, o sublinhado é da nossa responsabilidade)⁷

Solomon vai propor que se comece com a segunda lei da termodinâmica em vez de se começar pela primeira e vai, de certa forma, desprestigiar o valor da história da ciência. Com efeito escreve:

"The 'primitive science' of great thinkers of the past was far too cogent and philosophical to match children's naive explanations of how things might be, and the commonplace objects of our age are also very different from those of earlier times. We would not expect ancient imaginative models, like 'internal tremors' or 'weightless fluids', as explanations of heat from our modern children. We could also question whether the First Law, about dissipation, in our pupil's thought (Solomon, 1982). They have grown up with cars, engines and motors. It would be surprising if their intuitive thermodynamics did not try to explain and predict the course of energy transfer and transformation in some simple way" (p.125, 126).

Este comentário, relativamente ao pouco interesse da cultura histórica para o aluno moderno, parece-nos infeliz e pouco fundamentado. Na verdade, Solomon não nomeia os aspectos históricos interessantes para o efeito. Evidentemente, que os problemas se colocarão hoje de forma diferente: a crença na indestrutibilidade das "forças" seria, hoje, mais difícil de promover, numa sociedade de consumo, como é a nossa, essencialmente materialista (a utilização da palavra materialista é feita no sentido de ausência de espiritualidade). O "voo" ao século dezanove permitir-nos-à imaginar outras atmosferas e clarificar o desenvolvimento de uma noção tão fascinante como é a energia.

⁷ A ordem histórica tem muito que se lhe diga. Com efeito o primeiro esboço da Segunda lei aparece com Sadi Carnot em 1824.

Solomon sintetiza algumas das ideias desenvolvidas afirmando:

"The two questions about energy changes - whether it changes in quantity, and what its direction of change might be - are now seen to be inseparable in the learning process. Experience tells us that energy changes take place in a 'running down direction'. This looks like a contradiction of the Conservation Principle, which it is not, and it certainly makes the pupils' application of the Principle much more difficult" (p.131).

Esta autora vai então substancializar a afirmação, contida nesta excerto, de que a experiência nos diz que as variações de energia se fazem na direcção do "running down". A investigação em que ela se apoia propõe a exploração de várias situações experimentais com os alunos de forma a encontrar-se uma formulação da Segunda lei com valor didáctico. Alguns exemplos: um motor térmico, um sifão, um pêndulo grande e pesado, etc.. Relativamente a este último exemplo escreve Solomon:

"Then came a large and heavy swinging pendulum. In spite of the fact that Galileo had used a form of this to demonstrate the conservation of 'motion', any real pendulum clearly runs down. By now there was consensus in all six classes that the process was 'dying down' and would eventually stop. All classes also identified air resistance as the agent which liberated energy 'uselessly' as something like heat. Three of the classes which had already identified difference and sameness as important factors in the siphon and the steam engine could now answer questions about running down in terms of differences in height which 'made it go' and would 'even out' as it stopped" (p.133).

Esta pesquisa permite, então, o seguinte enunciado:

"THE RUNNING DOWN PRINCIPLE

'In all energy changes there is a running down towards sameness in which some of the energy becomes useless'" (p.134).

Este enunciado, com a sua generalidade, dará origem às mesmas dificuldades de aplicação que foram referidas relativamente à conservação da energia. A sua designação é, no entanto, enganadora. Ela foi inspirada na observação dos processos que têm tendência a parar. E quanto à vida, poderão os alunos perguntar com toda a legitimidade?

Solomon conclui que as respostas ao caso da bola de golf mais insatisfatórias no programa de ensino anterior - a saber: a explicação através do armazenamento na bola da energia e a consequente crença na reversibilidade do processo - melhoraram bastante com o segundo programa de ensino, apelando à transformação+dissipação da energia para a interpretação do processo. Embora Solomon tenha uma noção clara das dificuldades associadas à exploração do segundo princípio a conclusão a que ela chega relativamente aos dois programas de ensino parece-nos inferida de forma excessivamente linear para a complexidade da questão em discussão. Não deixa de nos surpreender a assimetria (do ponto de vista didático já que do ponto de vista da universalidade dos dois princípios Solomon é herdeira de Thomson) com que a conservação da energia e o "running down principle" são tratados. Com efeito, relativamente a este último é utilizada uma versão à W. Thomson, portanto à século dezanove. Como afirma Isabelle Stengers:

"La dégradation de l'énergie est donc, pour Thomson, un principe aussi universel que le principe de conservation. Il affirme la disparition progressive au cours du temps de toute énergie «utilisable», c'est-à-dire susceptible de produire un travail" (1997, p.56).

Porquê então ser tão intolerante para com o aspecto da conservação relativamente a possíveis versões à século dezanove, muito mais interessantes, como mostraremos, do que as versões propostas? A argumentação é muito limitada e redutora, uma vez que Solomon toma um caminho para a construção da conservação como O caminho. Ora a desvalorização de um princípio tão importante na história da física representa, do nosso ponto de vista, um verdadeiro desprezo pela cultura científica. Entendemos cultura no sentido de Whitehead: "culture is activity of thought, and receptiveness to beauty and humane feeling" - a noção de energia, no seu contexto histórico e no seu desenvolvimento, faz-nos experimentar estas três dimensões, que tentaremos colocar em evidência no desenvolvimento do nosso trabalho.

2.4.5 Quarta Bifurcação

Sobre o valor da construção histórica da noção de energia

"There have been references to the history of scientific thought throughout this book. The rationale for them was not that children evolve through ancient ideas in some genetic sense, but that the ideas have left imprints in the language which we all use to speak about energy".

Solomon em *Getting to Know about Energy*, p.168.

(o sublinhado é da nossa responsabilidade)

Fomos mostrando ao longo do texto como Solomon utiliza a história da ciência de uma forma tão limitada e tão pouco interessante. A frase em epígrafe sintetiza bem a forma como Solomon encara o valor da história do pensamento científico nos contextos educativos.

No entanto, no último capítulo, dedicado às tecnologias da energia, Solomon tem necessidade de fazer algumas incursões históricas que estão para além da identificação dos resquícios na linguagem de formas ultrapassadas de tecnologia. Ela tentará mostrar como as tecnologias dominantes moldam o imaginário das diferentes épocas. Solomon cautelosamente inscreve este capítulo naquilo que ela designou "extensão do conhecimento geral", demarcando-se, claramente, de contextos que tenham como objectivo a aprendizagem do conhecimento científico, pois como ela afirma o tipo de conhecimento em questão "makes links with structureless informal Knowledge" (p.168) (o que seria um atentado se estivéssemos no plano da aprendizagem do conhecimento científico - este terá de ser "seco e frio"). Contudo, Solomon faz incursões a noções que não se inscrevem no conhecimento geral e que mereceriam um outro tipo de atenção para que pudessem ter algum efeito formativo. Relativamente à forma como Solomon se relaciona com o pensamento de alguns autores que se afastam da sua forma de encarar o conhecimento científico - aspecto explorado a partir das referências, feitas no texto, a Leibniz - este capítulo fornece-nos matéria para continuar esta discussão. Assim, abordaremos dois aspectos que nos parecem ser significativos no pensamento de Solomon: uma certa desconsideração pela espiritualidade - daí a pouca simpatia por Leibniz - presente nalguns cientistas, talvez por temer uma certa fragilização da imagem do pensamento científico; o evitar falar de noções ultrapassadas, uma vez que "a finalidade do ensino da física é instruir os alunos nos conceitos e teorias estabelecidas".

Quando Solomon faz, por exemplo, referência ao pensamento de Crookes, ligando-o com o pensamento do séc. XVIII - época de proliferação de fluidos explicativos "invisíveis e misteriosos" - sentimos um certo tom depreciativo. Com efeito escreve:

"At one point this odd way of thinking may have had a momentary influence on a new field of physics. William Crookes was the first to describe the luminous effects of cathode rays which J. J. Thompson later named electrons. In the 1870s Crookes also showed that, although apparently weightless, the rays could make a thin screen of glass recoil and were deflected by a magnet. He was lyrical in his description of the strange new rays, 'the fourth state of matter' and a 'corpuscular form of light'. But then William Crookes was an ardent spiritualist and later president of the Society for Psychical Research" (p.180).

Já relativamente ao calórico é mais benevolente pelos resultados experimentais que permitiu. Quando fala de Carnot apenas releva a incorrecção da analogia utilizada e refere o caso com o único objectivo de mostrar como no imaginário cultural permanecem imagens da tecnologia dominante em épocas anteriores. Solomon escreve:

"The defining technology of power from the Middle Ages remained potent for long enough to serve as an analogy for the first theoretical scientist of the succeeding age of steam power. In 1824 when Sadi Carnot wrote the first mathematical analysis of the steam engine, he used the image of the waterwheel, with heat (caloric fluid) flowing down a temperature gradient, just as water flowed down a gravitational gradient, to produce useful work. The analogy was not perfect since heat is not conserved, as a substance like water must be, but this acknowledgement of a dominant technology from the past was a sure sign of its continued hold on the cultural imagination" (p.173).

Solomon parece, assim, reduzir a genialidade de Carnot a uma extensão natural do contexto. Quão longe estamos de Isabelle Stengers (1993) quando coloca em evidência a genialidade do dispositivo de Carnot. Quão longe estamos dos próprios físicos do século XIX, como é o caso de Kelvin que, a propósito da abordagem de Carnot, escreve:

"Nothing in the whole range of Natural Philosophy is more remarkable than the establishment of general laws by such a process of reasoning" (citado por Crosbie Smith e Norton Wise, 1989, p.294 - "Energy & Empire - a biographical study of Lord Kelvin", Cambridge University Press, a introduzir na bibliografia).

Quanto à utilização do calórico afirma (1997):

"Et c'est bien en effet la théorie du calorique, c'est-à-dire de la conservation d'une «chaleur-substance», qui menait vers le cycle et rendait son invention intuitivement intelligible" (p.46).

No que diz respeito à leitura que fizemos dos textos históricos, e contrariamente a Solomon, poderemos caracterizá-la utilizando a imagem de Schlanger, fomos "o homem que faz mel a partir de tudo para sua própria utilização".

Faremos contraste com Solomon mostrando como as noções de energia - científica e não científica - emergem associadas a alterações na visão do mundo. Pensando, de uma forma próxima de Deleuze, que o conhecimento é para ser utilizado em lugares distintos daqueles em que foi elaborado, não podemos senão valorizar a contaminação dos diferentes desenvolvimentos. Só assim poderemos produzir a dinâmica adequada que ajudará o professor a lidar de uma forma confiante com a noção científica de energia, sem medo de dar lugar ao "romance". Utilizando uma afirmação de Paula Rego (Público, 29 de Maio de 1998), no contexto que nos interessa (o ensino da física), diremos que "as histórias são uma maneira de dar sentido às coisas".

2.4.6 Algumas considerações finais

O debate, no âmbito da Didáctica, sobre a natureza dos conceitos científicos tem sido excessivamente redutor: não há lugar para a especificidade dos diferentes conceitos. Tudo parece já estabelecido. Os conceitos científicos, por serem científicos (e com isto está-se a querer dizer que são conceitos difíceis) exigem um tratamento didáctico especial, mas uniforme. Conceitos com um desenvolvimento tão rico, como é o caso da energia, que lançaram verdadeiros debates, no seio dos cientistas, sobre a natureza do conhecimento científico (realistas, Planck/construtivistas, Mach) e que estiveram no cerne de mudanças de estilo de alguns cientistas do séc.XIX, como é o caso de Kelvin (ver Crosbie Smith e Norton Wise, pp.344-347) devem, do nosso ponto de vista, ocupar um lugar importante na formação de professores. O contacto com o seu desenvolvimento é um verdadeiro motor de cultura científica. A sua história merece ser trabalhada do ponto de vista da produção de efeitos didácticos interessantes e não ser reduzida a uma fonte de elementos para a caracterização de uma linguagem contaminada por ideias “obsoletas”, como Solomon parece sugerir. Estes efeitos didácticos interessantes resultarão do fascinante encontro entre as ideias e a natureza. Ou, utilizando as palavras de S. J. Gould (1991):

“La beauté de la nature réside dans les détails, les messages dans les synthèses. Une mise en perspective optimale doit renvoyer aux deux et je ne connais pas de meilleure tactique que d’illustrer de passionnants principes généraux par des exemples particuliers bien choisies” (p.91).

Ou ainda, como escreve Whitehead (1948):

“C’est l’union de l’intérêt passionné pour les faits précis et d’une dévotion égale pour la généralisation abstraite, qui constitue la nouveauté dans notre société actuelle” (p.19).

É esta união que é fonte de ideias «vivas», tão preciosas para os contextos educativos.

Embora o estudo e a discussão desta obra de Solomon seja fundamental para o desenvolvimento do nosso trabalho - dando pertinência pedagógica aos aspectos que decidimos valorizar e permitindo um certo desenvolvimento metodológico - este não se esgota

na elaboração dos contrastes⁸ referidos à obra de Solomon. O resultado final, que tem por detrás a activação do círculo criativo referido, valerá por si próprio sem que necessite de uma validação metodológica: as ideias lá estarão, devidamente fundamentadas, e serão geradoras de actividade de pensamento, de emoções e de ligações às temáticas.

Em suma, à ideia geral de Solomon de que "the basic purpose of this science teaching [refere-se ao ensino da física] is to instruct our pupils in accepted definitions and established theories" (p.98) contrastaremos com a orientação que encontramos em Whitehead - "What education has to impart is an intimate sense for the power of ideas, for the beauty of ideas, and for the structure of ideas, together with a particular body of knowledge" (citado na p.56 deste trabalho).

⁸ Atenção ao facto de que utilizaremos a palavra contraste de duas formas distintas: uma em que há uma oposição com desvalorização de um dos lados, a outra, inspirada em Whitehead, em que a oposição serve para a criação, com valorização idêntica dos dois pólos. Por exemplo, quando contrastarmos o texto de Isabelle Stengers sobre a energia com o texto de Kuhn sobre a energia como caso de descoberta simultânea é deste último contraste que se trata. Os contrastes ao pensamento de Solomon têm, por vezes, a conotação de contraste primeiramente referido.

Parte Segunda

**Energia: uma palavra, uma
estética, um actor, uma medida,
uma inteligibilidade**

“Toda a energia é a mesma e toda a natureza é o mesmo...
A seiva da seiva das árvores é a mesma energia que mexe
As rodas da locomotiva, as rodas do eléctrico, os volantes dos Diesel,
E um carro puxado a mulas ou a gasolina é puxado pela mesma coisa”
Álvaro de Campos em *A passagem das horas*.

Introdução

Para que o conhecimento didáctico não seja um conhecimento fundado na autoridade é necessário conhecer os problemas, e a razão de ser destes, que estão na origem da produção de novo conhecimento científico. Esta é uma das linhas problemáticas orientadora do desenvolvimento desta parte da nossa investigação, para além de se constituir como linha metodológica de produção de narrativas pedagogicamente interessantes (fonte de elementos para o estado de “romance”, para a “flying classroom”).

A investigação histórica que realizámos foi concebida a partir de um estado inicial de cultura histórica em que o texto de Kuhn (1989), *A conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea*, é um marco muito importante. Mais tarde, o texto de I. Stengers (1997), *L'énergie se conserve!*, deu-nos outras pistas de interrogação. Outros autores nos influenciaram na nossa trajectória como, oportunamente, teremos ocasião de colocar em evidência. Não poderíamos, no entanto, deixar de começar por nomear estes dois textos tão importantes na nossa formação de investigadores.

Ao colocarmos em evidência três figuras (Mayer, Joule, Helmholtz¹), representativas de interesses e estilos científicos substancialmente diferentes, tentaremos não cair na tentação do reducionismo. Para isso, o artigo de Kuhn é essencial já que nos permite situar numa “paisagem” tão rica e interessante que a história da conservação da energia nos dá a ver.

Com o texto de I. Stengers é a forma “interessada” de interpretação, de significação que nos entusiasma.

O capítulo dedicado à “palavra” inscreve-se, como foi dito no capítulo 2 deste trabalho, num contraste à sobrevalorização do conhecimento comum na educação científica, pretendendo, assim, valorizar o poder imaginativo e o desenvolvimento de sensibilidades para o conhecimento, para a cultura (entendida no sentido de Whitehead). Inscreve-se no combate à autoridade didáctica que recorre, frequentemente, como ponto de partida à ideia: “o significado da palavra em Física não tem nada a ver com os significados correntes”. Ou como exprime um aluno do 11º ano: “nas escolas nós aprendemos o conceito de energia diferente daquele aprendido antes com a nossa vivência, energia é tudo aquilo que produz trabalho, dizem-nos os professores” (o sublinhado é nosso). A razão de ser do novo significado parece, assim, ser a autoridade do professor.

Embora a ideia de que o significado da palavra em Física – depois de um longo percurso - nada tem a ver com os significados correntes possa ser verdadeira², ela não é didacticamente legítima, a não ser que seja um ponto de chegada e não um ponto de partida. O conhecimento didáctico tem de dar importância à origem da palavra se queremos uma didáctica não autoritária. É na sua origem que se jogam as influências dos contextos. Os cientistas vivem dentro de uma cultura e não são imunes a ela. Eles pensam com as palavras disponíveis e há uma razão para que a palavra ganhe importância no contexto científico. No capítulo sobre a “Palavra” tentaremos mostrar alguns dos contextos de utilização da palavra, antes desta ter sido utilizada pelos cientistas.

A conservação da energia introduz uma nova visão em que o «novo» e o «velho» co-habitam harmoniosamente um mundo unido pela energia:

¹ A estes três cientistas dever-se-á acrescentar Colding, cientista dinamarquês. Colding não será trabalhado tão aprofundadamente quanto os três cientistas nomeados. Faremos, no entanto, algumas incursões ao seu pensamento e tentaremos destacar a espiritualidade que perpassa nos seus textos.

² Não esquecer as diferentes interpretações que continuam a existir mesmo no âmbito disciplinar.

“[Le lecteur] attend déjà le coup de théâtre qui a transformé les perspectives de la physique au milieu du XIXe siècle: de la respiration humaine à la machine à vapeur, de la bougie qui brûle à la pile électrochimique, tous les phénomènes, qu’ils appartiennent à la nature ou à la technique, *conservent l’énergie*” (I. Stengers, 1997, p.33).

Esta noção tem uma natureza substancialmente diferente das entidades construídas na mecânica. Com efeito:

“L’objet mécanique avait le pouvoir de dicter la manière dont il devait être défini, et c’est en cela d’abord qu’il était intéressant. Il permettait de rassembler autour de lui ceux qui inventeront la mise en représentation mathématique qu’il autorise, mais il ne permettait pas de rassembler des phénomènes disparates, de mettre le monde en représentation. Il doit au contraire être sélectionné au sein de ce monde, puis isolé et purifié. En d’autres termes, il est, en ce qui concerne son existence même d’objet expérimental, radicalement dépendant de nos intérêts et de nos pratiques: la bille doit être ronde, le plan incliné lisse, et il vaudrait mieux que l’air s’absente pour que soient satisfaites les exigences dont dépend le pouvoir de la représentation mécanique. Il en va tout autrement de l’énergie que conserve, à partir de 1850, *n’importe lequel* des processus naturels, qu’il soit mis en scène par l’homme ou repéré dans la nature (y inclus bientôt les étoiles)” (id., p.33-34).

Uma didáctica que pressupõe uma homegeneidade na natureza dos conceitos físicos, para se interessar apenas pela polarização entre “conhecimento geral” e conhecimento científico, retira interesse ao conhecimento científico. A nossa investigação pretende contribuir para uma didáctica que seja capaz de ter um olhar entusiasmado, e não um olhar apenas centrado nas dificuldades ou centrado num utilitarismo reducionista, sobre o conhecimento científico. A investigação histórica, que desenvolvemos, sobre a conservação da energia tentará dar relevo a todas as reflexões que exibam o valor, o poder, o interesse da noção em questão.

As esperanças e os receios de um novo "poder": a máquina a vapor

"The natural machine, the human body, is depreciated in the market... Mechanical invention, and not mere labour, is the great source of national wealth"

James Martineau, citado por Dolores Greenberg, p.712, 1990

"There is no new creation of machinery which entirely supersedes the use of the labour of man. A steam engine requires the constant labour of man - he must regulate its motion and its velocity - he must procure coals for the fire necessary to work it - he must attend to its annual repairs"

David Ricardo, citado por Dolores Greenberg, p.712.

As duas citações em epígrafe, do princípio do século dezanove, ilustram o poder e o valor da nova grande invenção: a máquina a vapor. A consequente depreciação do trabalho humano era um receio manifestado por alguns dos pensadores da época. Outros, como nos conta Dolores Greenberg, celebravam o paraíso anunciado de um mundo de abundância sem "trabalho", celebravam a "union of artifice with inanimate force for eliminating toil" (Dolores Greenberg, p.693).

Não vamos aqui proceder a uma análise dos textos da época sobre as mudanças sociais vistas através dos novos conceitos científicos, nomeadamente dos conceitos de trabalho e de energia. Para isso, remetemos para o texto "Energy, Power and Perceptions of Social Change in the Early Nineteenth Century", de Dolores Greenberg (1990). Este artigo mostra como alguns textos escritos por engenheiros e por cientistas tiveram, na época, uma forte influência sobre o pensamento económico e social e desenvolve uma reflexão crítica sobre a transposição directa de noções dos sistemas físicos para os sistemas sociais e económicos:

"My concern here is to clarify the early nineteenth-century energy mystique that permeated major strains of public discourse, showing how it reappeared in a variety of different

contexts. I examine the perception of power as a means to achieve a paradisaical dream, a utopian ideal that both reflected inherited values and crystallized the aspirations and misunderstandings of the era. I also show how the vision of utopia was assimilated in a range of formulations that that presented escalating energy use as a primary source of change but misrepresented its role in the workplace and, in extolling its evolutionary consequences, misread its relation to industrialization" (p.695).

Sobre esta ideia de contaminação de diferentes áreas do conhecimento através do conceito de trabalho veja-se. *Le Travail, Économie et Physique, 1780-1830*, de Vatin (1993).

Num artigo sobre o princípio de conservação do valor Alliez e Stengers (1984) vão também relacioná-lo com o princípio de conservação da energia, seu contemporâneo. Mas, como referem os autores:

"[la question] n'était plus celle de l'influence de la physique sur Marx e Engels [o que conferiria um grau de autoridade à Física], mais celle, plus précise, de leur compréhension, éventuellement singulière, du principe de conservation de l'énergie" (p.160).

Se aplicarmos esta ideia ao artigo de Greenberg poderemos perceber que o que está em causa não é a influência directa de alguns conceitos físicos mas sim a forma como algumas noções são compreendidas e valorizadas em diferentes contextos. Este artigo dá-nos, através de algumas citações muito bem escolhidas, a saborear uma época em mudança em torno de uma máquina poderosa: a máquina a vapor. Por exemplo:

"Coal smoke did not merely stain their homes; its dangerous sulfureous vapors polluted the air of factory towns such as Manchester - where the «dark mass of smoke hover[ed], like a sooty diadem over this queen of cities» - and destroyed the lungs of women and children" (p.710).

Ou quando Greenberg cita Hawkes Smith (dirigente radical da classe operária):

"When the *steam engine* was perfected, half the *external* distinctions of rank vanished; the new power rendering manufacturing articles more accessible" (p.711).



Figura I.1. *Chuva, Vapor e Velocidade*. Turner, 1844
(Imagem retirada de Turner and the Scientists, 1998, p.103).

Um dos aspectos que nos interessa fazer ressaltar neste artigo é a emergência do artificial. Como diz Greenberg: "Despite the fears of artifice as a sinister, disruptive force endangering the equilibrium of rural society (...)" (p.697). O artificial atinge, com a máquina a vapor, um nível de visibilidade que não é compatível com a indiferença.

Para testemunhar alguns dos aspectos relacionados com o ar dos tempos faremos algumas incursões à História da Pintura, pela visibilidade que permite dar a algumas ideias.

Veja-se, por exemplo, o quadro de Turner "Chuva, vapor e velocidade"³ (1844), representado na figura I.1. Neste quadro, como em muitos outros, Turner transmite o seu fascínio pela técnica. Sobre ele escreve Riout (1996): [É] um hino aos elementos e à força viva do vapor". A tendência para o abstraccionismo é aí muito evidente. Com efeito, Turner parece querer fazer emergir uma energia estética através da ligação que estabelece, pela via abstraccionista,

³ Sobre este quadro Reynolds (1997) conta-nos a seguinte história:

"An old friend of Ruskin's told him that she was travelling to London on the Exeter express when an old gentleman in the carriage asked permission to open the window. He put his head into a rainstorm for nine minutes, observing and memorizing; and next year she saw the picture at the Academy. The hare running along the track in front of the train is a characteristically playful touch indicating the limits on the engine's speed" (p.197).

Esta necessidade de experienciar as sensações que pretende "colocar" na tela vai de par com uma curiosidade intelectual, nomeadamente, uma curiosidade científica. Com efeito, Turner encontrou-se com personalidades como Faraday e Hershel e era amigo dos Somerville, nomeadamente de Mary Somerville. Esta publica em 1834 a obra de divulgação *On the Connexion of the Physical Sciences*. Aí é exibida uma nova visão do mundo físico. Esta obra juntamente com a proliferação das novas descobertas mostraram ser "um grande requisito para a emergência da conservação da energia" (Kuhn, 1989, p.111).

energia: uma palavra, uma estética, um actor, uma medida, uma inteligibilidade entre o natural e o artificial (comboio e elementos naturais - vento e chuva) e entre vivo e o inanimado (comboio e lebre, que, embora não muito visível, corre ao lado do comboio).

Turner beneficiou muito da "força viva do vapor" nas suas viagens pela Europa, nomeadamente nas suas visitas à Alemanha e a Itália onde pintou quadros memoráveis. Como escreve Powell (1995):

"The arrival of the age of steam on both the Rhine (1827) and the Danube (1837) made Turner's journeys through Germany increasingly easy. In August 1840, he could have travelled by steamer from Cologne up to Mainz in a single day, leaving early but arriving well before midnight"⁴ (p.12).

Mas se Turner tece "hinos à força viva do vapor" outros há que manifestam o seu "ódio" aos efeitos da utilização das máquinas a vapor. É o caso de um artigo irónico, anónimo, publicado na Blackwood's Edinburgh Magazine (1839). Aí é dito:

"I hate to be made to wait for a steam-engine, and for a steam-engine never to wait for me. Horses will wait, and men will wait - and even sometimes, when you are young and handsome, or old and wealthy - or neither, and very agreeable (precisely my case) women or ladies will wait for you (...); but a steam-engine will not wait, for all its enjoyment appears to consist in rattling away, as hard as its lungs will admit (...)" (p.481).

Este texto dá-nos uma ideia de como os estilos de vida se estavam alterando. Diz-nos o autor:

"Then I hate to go everywhere at the same rate. Over the moor - through (not up) the hill - along the valley - across the river - every where, though the country be dull and uninteresting, verdant and laughing, or bold and romantic - every where, along we rattle and along we roar at the rate of forty miles per hour (...). Just so acts that steam-engine

⁴ É o comboio que lhe dá a possibilidade de estar a pintar Heilbronn (cidade em que vive Mayer) enquanto Mayer está trabalhando com todo o entusiasmo a sua ideia de indestrutibilidade das "forças".

energia: uma palavra, uma estética, um actor, uma medida, uma inteligibilidade
fellow, who drags you along up hill and down dale, without giving you permission or time
even to exclaim, «How beautiful!»" (p.483).

Se com Turner a máquina a vapor é elemento válido na produção do belo, neste texto a máquina a vapor retira lugar à experiência do belo. Na verdade, o desenvolvimento do sistema industrial em Inglaterra, na primeira metade do século dezanove, pecou pela não consideração das necessidades estéticas de uma sociedade, como refere Whitehead num texto publicado no livro "La Science et le Monde Moderne". Diz ele:

"Les maux inhérents aux premiers temps du système industriel sont aujourd'hui une évidence. Le point sur lequel je tiens à insister est l'indifférence qu'affichèrent les plus grands hommes de ce temps à l'égard de l'importance de l'esthétique dans la vie d'une nation. Je ne crois pas que nous ayons fait beaucoup mieux aujourd'hui. Une cause ayant favorisé cette erreur désastreuse fut la conviction des scientifiques selon laquelle la matière en mouvement est la seule réalité concrète dans la nature, de sorte que les valeurs esthétiques forment une addition fortuite dépourvue de signification" (p.235, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Voltando ao texto anónimo:

"More celerity is the only advantage secured by these inventions; and as I am no Manchester warehouseman, Liverpool merchant, or Birmingham manufacturer, I cannot appreciate (as perhaps I ought to do) this steaming through England" (p.484).

Já diferente, embora crítica, é a visão de Fradique Mendes (1888, personagem de Eça de Queiroz):

"Um caminho de ferro é obra louvável entre Paris e Bordéus. Entre Jericó e Jerusalém basta a égua ligeira que se aluga por dois dracmas, e a tenda de lona que se planta à tarde entre os palmares, à beira de uma água clara, e onde se dorme tão santamente sob a paz radiante das estrelas da Síria.

E são justamente essa tenda, e o camelo grave que carrega os fardos, e a escolta flamejante de beduínos, e os pedaços de deserto onde se galopa com a alma cheia de liberdade, e o lírio de Salomão que se colhe nas fendas de uma ruína sagrada, e as frescas paragens junto aos poços bíblicos, e as rememorações do passado à noite em torno à fogueira do acampamento, que fazem o encanto da jornada, e atraem o homem de gosto que ama as emoções delicadas de Natureza, História e Arte. Quando de Jerusalém se partir para a Galileia num vagão estridente e cheio de pó, talvez ninguém empreenda a peregrinação magnífica (...). O teu negro comboio rolará vazio. Que pura alegria essa para todos os entendimentos cultos – que não sejam accionistas dos Caminhos de Ferro da Palestina!...

Mas sossega, Bertrand, engenheiro e accionista! Os homens, mesmo os que melhor servem o ideal, nunca resistem às tentações sensualistas do progresso. Se de um lado, à saída de Jafa, a própria caravana da rainha de Sabá, com os seus elefantes e ónagros, e estandartes, e liras, e os arautos coroados de anémonas, e todos os fardos abarrotados de pedrarias e bálsamos, infindável em poesia e lenda, se oferecesse ao homem do século XIX para o conduzir lentamente a Jerusalém e a Salomão – e do outro lado um comboio, silvando, de portinholas abertas, lhe promettesse a mesma jornada, sem soalheiras nem solavancos, a vinte quilómetros por hora, com bilhete de ida e volta, esse homem, por mais intelectual, por mais eruditamente artista, agarraria a sua chapeleira e enfiaria sôfregamente para o vagão, onde pudesse descalçar as botas, e dormir de ventre estendido” (p.191-192).

Três anos após a realização do quadro de Turner "Chuva, Vapor e Velocidade", Menzel, pintor alemão (1815-1905) – contemporâneo e amigo de Helmholtz - pinta "O Caminho de Ferro Berlim-Potsdam" (1847), ver figura I.2. É interessante pensar que enquanto Helmholtz prepara o seu importante artigo sobre a "Conservação da Força", Menzel pinta o seu quadro sobre o Caminho de Ferro. Se o



Figura I.2. *O Caminho de Ferro Berlim-Potsdam*. Menzel, 1844 (imagem retirada do catálogo Menzel, 1996, p. 212).

energia: uma palavra, uma estética, um actor, uma medida, uma inteligibilidade
texto de um nos permite aceder ao pensamento científico da época, o do outro dá-nos
atmosferas e motivos de interesse da época.

Se Helmholtz está entusiasmado com o poder unificador da “conservação da força”, Menzel dá-nos a ver uma fragmentação da paisagem (através da célebre e polémica curva da linha de comboio), metáfora para a fragmentação social.

A propósito deste quadro é dito no catálogo publicado aquando da exposição sobre Menzel em Paris (15 de Abril a 28 de Julho de 1996):

"Tandis que, chez Turner, les fougueux tourbillons de la peinture, son pathos onirique, à fortes connotations romantiques, élèvent le naturel [do nosso ponto de vista não é só o natural, mas sim o natural e o artificial, como referimos anteriormente] vers le surnaturel, l'esthétique de Menzel, sans phrase, prosaïque, affirme la valeur intrinsèque du phénomène" (p.211).

Este quadro não foi bem aceite por alguns contemporâneos de Menzel:

"[Meier-Graefe] qui n'avait de cesse faire référence à l'art français, qualifia cette expressivité de «bien grossière et précipitée», et de «plus cavalière que géniale». «Tout cela est quand même trop indigent», s'exclamait-il: un jugement qui prouve combien le «jeune Menzel» était mal compris, même par ceux qui avaient découvert son talent. Au même moment, à Paris, Auguste Marguillier écrivait: «peut-être le chef-d'œuvre de Menzel»" (id., p.211).

O que mais parece ter chocado os seus contemporâneos foi sobretudo a curvatura da linha férrea, como é dito no catálogo.

Menzel inspira-se num facto novo:

"La vaste zone qui s'étalait aux portes de la ville et que la mainmise des sociétés immobilières privées défigura plus qu'elle ne la reconvertit, était un fait nouveau. Menzel est le premier à y voir décelé un sujet pictural" (id., p.211).

Mas se a fragmentação da paisagem é colocada em evidência neste quadro, o comboio é ele um sinal de ligação rápida entre Potsdam e Berlim (id., p.146). E aqui há uma aproximação com a ideia de unidade das “forças”.

Menzel na sua procura de uma certa ordem social dá-nos a ver a desordem nascente com o triunfo da industrialização. No que diz respeito aos comboios o que o interessa verdadeiramente é o que se passa no seu interior. A este respeito podemos ler no catálogo:

“Menzel est également le premier à faire entrer dans l’art allemand le voyage en train comme phénomène de masse. Il représente de nombreux intérieurs de train, avec un luxe particulier de détails dans *En route à travers la belle nature*, vers 1892. Des gens dorment ou observent, arrachés à leur monde familial, enfouis dans les formes ondulantes comme des arabesques des sièges capitonnés de première classe: Menzel montre dans ces intérieurs de voyage l’aliénation d’une société devenue étrangère à elle-même comme à la nature. Seul l’enfant qui dort à proximité des fleurs et le contrôleur en pleine nature sont à leur aise. A l’opposé, le remue-ménage des gens voyageant ensemble forme un portrait de leur *curiositas*, de cet appétit de nouveauté qui saisit une société portée par le progrès industriel vers des réalités sans cesse renouvelées. Ici, l’allégorie de l’artifice savant qui stagne dans l’arabesque, là, l’allégorie d’une présence à la nature purement touristique, voyeuriste et ne s’attachant qu’aux dehors” (p.146, o sublinhado é nosso).

As pessoas representadas neste compartimento nada têm em comum a não ser “la soumission aux contingences de ce moyen de transport moderne, entre les mains duquel Menzel se remettait lui-même chaque été” (id., p.289).

Sobre a pintura *Homme bâillant dans un compartiment de train* (1859) escreve Hermann Beenken:

“A travers ce voyageur, dont le corps est marqué de façon si grossière et si peu courtoise par le besoin de sommeil nocturne, l’humanité se présente comme le produit le plus laid de la Création...” (citado no catálogo, p.288).

Estas breves incursões à História de Arte e à Literatura dão-nos a possibilidade de sair do contexto científico tornando a reentrada nele muito mais rica e significativa. Ao mesmo tempo

energia: uma palavra, uma estética, um actor, uma medida, uma inteligibilidade

permite-nos exhibir profundas transformações de ordem estética e afectiva que existem tanto quanto a profunda transformação na visão do mundo físico - que emerge com a noção de energia.

Capítulo 3

**Uma Palavra: dos artistas românticos
aos físicos profissionais**

"O nome é a primeira verdade das coisas"

Olivia Regina (directora da Escola Básica Sophia de Mello Breyner), Expresso, 30 de Maio de 1998, citada na crónica de Maria João Avilez.

3.1 Introdução

O conhecimento da multiplicidade de significações associadas à palavra "energia" é, do nosso ponto de vista, um objectivo de grande importância, não podendo este reduzir-se a conhecer a informação dada pelo dicionário; a ouvir uma discussão entre pessoas ou a identificar "resquícios obsoletos" do desenvolvimento histórico. Diríamos que ao ficar por aí o pensamento não vai muito longe. É necessário compreender quais são os diferentes papéis desempenhados por esta noção em diferentes domínios da cultura. É preciso sentir a pertinência e o valor desses diferentes desempenhos.

Esta necessidade de conhecimento levou-nos a mergulhar no contexto histórico do desenvolvimento do conceito científico e a formular as seguintes interrogações:

A ideia de energia tinha um lugar importante na cultura e no pensamento antes da emergência do conceito científico? Quais são as significações da palavra na época? Que novas significações emergem com o conceito científico e com a sua evolução, no contexto científico?

Na realidade os estudos que realizámos na investigação anterior, através da história das ideias, permitem-nos afirmar que o conceito científico, que emerge a meados do séc.XIX, é herdeiro de uma cultura onde a ideia de energia é uma ideia chave para a compreensão de novos movimentos que emergem, durante o séc.XVIII, na literatura, nas belas artes e no pensamento em geral.

Neste capítulo retomaremos algumas das ideias já presentes no trabalho de investigação anterior (1993) - no que diz respeito ao valor da palavra energia nos finais do séc.XVIII - sem que de uma mera repetição se trate. Com efeito, uma nova elaboração dessas ideias permitirá

uma maior clareza; um novo investimento na forma de as dizer possibilitará novas formas de ligação à temática em questão, já que, pensamos como Whitehead, que é o estilo que invade todo o ser (ver p.67 deste trabalho). Para além de uma reelaboração das ideias fundamentais foram acrescentados novos exemplos que reforçam algumas dessas ideias e que permitem dar-lhes o relevo pretendido. A novidade deste capítulo estará na incursão feita aos artigos do séc.XIX determinantes para a fixação de um nome, neste caso a energia.

A utilização da palavra em diferentes contextos (literatura, escritos sobre pintura, música e ballet, ciência) será o objecto deste capítulo, que terá como objectivo colocar em evidência o poder e a beleza das noções subjacentes à utilização da palavra.

As noções científicas não podem ser abordadas sempre pelos mesmos princípios didácticos: elas têm naturezas e percursos muito diferenciados, incompatíveis com uma certa rigidez didáctica. Referimo-nos, por exemplo, à ideia de que a aprendizagem do conhecimento científico implica um corte com outras formas de conhecimento. François Vatin (1993), a propósito da noção de trabalho, testemunha o carácter castrador de uma certa didáctica, através da sua vivência, como aluno do ensino secundário. Escreve ele na introdução ao livro "Le Travail - Economie et Physique 1780-1830":

"Ce livre a pour lointaine origine un souvenir de lycéen. Je me souviens en effet de mon étonnement et de mon insatisfaction, lorsque l'on me présentait, en cours de physique de seconde, le concept de travail. Le mot était porteur de sens et mon professeur ne pouvait s'empêcher d'en jouer: il y avait «travail» quand on dépensait une force en déplaçant une résistance, ainsi dans le cas d'un homme qui élevait un fardeau. Sur mon manuel une image représentait cet homme «au travail»: un maçon sur un échafaudage élevait des briques en tirant un cordage. J'étais fort heureux de disposer enfin d'un concept physique qui semblait compréhensible au sens commun, mais les limites de pertinence de cette interprétation pratique me laissaient rêveur; il n'y avait «travail» que quand l'ouvrier élevait le fardeau, pas quand il le déplaçait sur un plan horizontal. Le bon sens me disait pourtant que dans ce dernier cas aussi l'ouvrier «travaillait». La réponse de mon professeur: «Il s'agit là d'un problème secondaire de frottement; sur une surface parfaitement lisse, un déplacement horizontal ne dépenserait aucune force», ne me convainquit pas. Je voulais bien ranger le concept de travail parmi toutes les autres grandeurs physiques que l'on m'avait présentées jusqu'alors dans un univers merveilleux et obscur échappant à tout entendement réel de ma part, mais pourquoi alors attiser mon intérêt par l'emploi d'un mot si évocateur?" (p.4, o sublinhado é da nossa responsabilidade)

A pertinência das questões levantadas pelo adolescente Vatin, por um raciocínio precioso de senso comum, emergirá quando, mais tarde, ele se ocupa de uma investigação histórica sobre a noção de trabalho nos contextos económico e físico. Tem, então, oportunidade de apreciar o valor das suas questões (ver obra referida).

A didáctica dos conceitos físicos parece, hoje, orientada, essencialmente, por dois pólos (contraditórios, pela sua radicalidade), como tivemos oportunidade de ilustrar através do pensamento de Solomon: o polo do quotidiano - sem grande espaço para a imaginação e para o pensamento; o polo do científico - sem espaço para o pensamento em movimento, para o interesse, para uma imaginação estimulante.

A noção de trabalho, nas práticas escolares, é, muitas vezes, introduzida fazendo apelo aos significados dos alunos para depois lhes ser dito que o conceito de trabalho em Física nada tem a ver com esses significados¹. Se o professor fosse confrontado com questões sobre a razão de ser da utilização da mesma palavra estaria completamente desprovido de conhecimento a esse respeito. Tal facto não será de admirar uma vez que os instrumentos relevantes na formação de professores não levantam questões desta natureza. O que já nos deixa um pouco perplexos é a constatação de que a área de conhecimento da Didáctica não se preocupe com tais questões.

A palavra energia é, como veremos, ainda mais evocadora do que a palavra trabalho, daí a pertinência de um capítulo que a coloque no centro das atenções. Este conhecimento é essencial se se pretende colocar em questão uma didáctica «prêt-à-porter».

A frase colocada em epígrafe, no início deste capítulo, aponta para o valor do nome. Embora este não traduza a "verdade das coisas" pode, no que diz respeito às noções científicas, representar "a primeira verdade das coisas" (utilizando nós a palavra primeira no sentido temporal e não no sentido da essência, como poderá ter sido a intenção da autora da frase).

Aprendemos, com a investigação anterior, a apreciar algumas das qualidades da noção de energia para os artistas e poetas românticos. Tal facto ganhou ainda mais relevância depois do nosso contacto com o pensamento de Whitehead, que tão bem soube evidenciar o valor dos românticos no dizer da experiência humana.

Através da utilização da palavra energia aprendemos, com alguns cientistas do século dezanove, a unificar toda a natureza; aprendemos, com Planck, a identificar uma realidade física; aprendemos com Bohr a conhecer as estrelas.

Este capítulo desenvolve-se por contraste ao "conhecimento geral" de Solomon, como foi referido anteriormente, e incidirá, essencialmente, sobre as utilizações da palavra energia nos finais do séc.XVIII e ao longo de uma parte do séc.XIX. No que diz respeito ao conceito científico abordaremos apenas alguns aspectos da emergência do conceito e da palavra que permitam, por um lado, perceber a razão de ser da importação da palavra para o contexto científico, e, por outro lado, colocar em evidência o paralelismo entre a metafísica e os "modelos" subjacentes ao pensamento dos cientistas, protagonistas deste processo, e o papel desempenhado pelas noções, não científicas, noutras áreas do conhecimento.

¹ Chamamos aqui a atenção para alguns textos de divulgação, como é o caso das Popular Scientific Lectures de Helmholtz, onde o conceito de trabalho é introduzido de uma forma elegante e interessante, como teremos ocasião de ver no capítulo 6.

3.2 A ideia de energia nos finais do século XVIII

Michel Delon (1988) desenvolveu uma investigação sobre a ideia de energia na literatura, nas artes e no pensamento ao virar das Luzes. Este trabalho de um homem de letras ajudou-nos a proceder a uma melhor inscrição cultural do conceito científico. Partilhamos com Delon a ideia de que:

"même si l'histoire des sciences connaît ses rythmes propres et sa logique, le concept [scientifique] appartient à la nébuleuse que nous appelons l'idée d'énergie" (p.182).

Há, nesta obra, dois aspectos que merecem da nossa parte uma atenção especial:

1. O papel integrador da ideia de energia na visão da cultura da época
2. O método de desenvolvimento da ideia acima explicitada.

No que diz respeito a estes dois aspectos intriga-nos a similitude com o que aconteceu no contexto científico. Relativamente ao segundo aspecto diremos que Delon, inspirado por trabalhos circunscritos a domínios particulares onde a ideia de energia é tomada como elemento de ligação entre movimentos antagonistas (casos de Jean Fabre e de Michelet), foi tomado pelo desejo de alargar o papel integrador da ideia de energia a toda a cultura. A partir desta intuição inicial Delon constrói, de forma bem fundamentada, uma visão da cultura da época, onde as diferentes áreas estão ligadas pela relevância dada à noção de energia e pelo papel subversivo desempenhado por esta. O poder da noção de energia é tão forte que os movimentos tradicionais sentem, também, necessidade de integrar a palavra energia nos seus discursos.

Delon produz, desta forma, uma unificação da cultura tal como no contexto científico se tinha produzido, com a emergência do conceito de energia, uma ideia de unificação da natureza.

O salto que Delon dá com a ideia de energia traz-nos à memória os saltos dados pelos protagonistas da construção do conceito científico. Por exemplo, Mayer (1841-1845) a partir da constatação de um facto, a mudança de cor do sangue nos trópicos, desenvolve uma unificação dos fenómenos físicos, químicos e fisiológicos (ver capítulo 4). Joule, que tem uma personalidade pouco especulativa, não pode deixar de especular quando fala de uma noção que, mais tarde, será designada por energia. Com efeito, ele escreve:

"Indeed the phenomena of nature, whether mechanical, chemical, or vital, consist almost entirely in a continual conversion of attraction through space, living force, and heat into one another. Thus it is that order is maintained in the universe - nothing ever lost, but the entire machinery, complicated as it is, works smoothly and harmoniously".

Poderiam ser dados muitos outros exemplos. Com efeito, a história do conceito de energia está povoada de saltos desta natureza, como mostraremos. Não queremos, no entanto, sugerir que Delon é apanhado pela ideia de energia à maneira dos séculos XVIII ou XIX. Pelo contrário, ele precisou de todos esses percursos para elaborar as suas ideias e nos dar a ver um "mundo" pela janela da energia.

Como afirma Kuhn (1989), relativamente ao desenvolvimento do conceito científico, só "a posteriori" poderemos juntar problemas e percursos tão diversos. Também, no que diz respeito à noção não científica, só "a posteriori" seria possível elaborar uma tal interpretação. Talvez possa ser defendido que Delon precisou da interpretação do conceito nos contextos científicos para alimentar uma tal visão.

O que é interessante é a constatação do poder que a palavra energia ganha nos finais do séc.XVIII, essencialmente com os românticos, e que se estende até aos nossos dias. Vimos como Solomon, apesar das qualificações negativas que faz da utilização da palavra fora daquilo que ela designa por utilização moderna, se deixa, ela própria, na introdução, enredar no movimento que uma tal palavra parece desencadear. Se a metafísica subjacente às utilizações da palavra nos finais do séc.XVIII não é nova, o poder expressivo associado à utilização da palavra é novo e subversivo. Com efeito, nos finais do séc.XVIII a palavra energia permite uma tomada de consciência de mudanças substanciais nas várias vertentes da cultura. Ela emerge por necessidade de expressão - possibilitando a ênfase nalguns aspectos fundamentais da existência humana - e permite, depois, a elaboração de discursos de mudança.

Diferentemente, o conceito científico emerge sem que a palavra seja utilizada. A elaboração - criadora de uma visão da natureza - é anterior ao estabelecimento do nome. Este é sensível ao contexto cultural da época. Será, portanto, natural encontrar uma contaminação dos discursos científicos por ideias tão atraentes.

A energia como conceito integrador será o mote para o desenvolvimento que faremos da ideia de energia nos finais do séc.XVIII.

A palavra energia está na moda no mundo das Letras

De acordo com Delon os textos "fourmillent d'occurrences du mot énergie, durant le dernier tiers du XVIIIème siècle et au début du XIXe" (p.19). Ele explora alguns exemplos que põem em evidência o facto desta palavra não ser muito utilizada anteriormente. É o caso de Madame Du Deffand:

"en écrivant à la duchesse de Choiseul en 1779, [elle] éprouve un scrupule d'avoir employé le mot. Elle rapporte à sa correspondante une anedocte: 'je m'en souviens qu'il [l'abbé Barthélemy] me touma en ridicule² une fois que par hasard, je prononçai ce mot énergie. Eh bien! Qu'il sache qu'aujourd'hui il est devenu à la mode et qu'on n'écrit plus rien qu'on ne le place" (p.19).

Mais tarde, a propósito da resposta da condessa de Choiseul, Delon escreve:

"quand la duchesse de Choiseul répond à Madame Du Deffand, elle se fait fort de fixer la date de naissance du mot dans son acception moderne: 'c'est depuis qu'on a des convulsions en entendant la musique'" (p.22).

Delon interpreta estas ocorrências, cada vez mais frequentes, por uma necessidade de passagem das palavras às coisas. No exemplo citado é evidente a procura de uma palavra que possa exprimir as fortes sensações vividas, resultantes da emergência de novos movimentos nas artes e no pensamento em geral.

Na poesia a palavra energia é muito utilizada nesta época³. Podemos dar como exemplo uma parte de um poema de William Blake ("The Marriage of Heaven and Hell", 1793):

"Energy is the only life
and is from the Body;
and Reason is the bound or outward
circumference of Energy.
Energy is eternal delight"

² Na época, na alta sociedade, o medo do ridículo ditava os comportamentos. Ver a este respeito o filme "Ridicule" (completar referência ao filme).

³ E continua, hoje, a ter a força poética que lhe foi conferida pelos românticos. Veja-se, por exemplo, o uso que dela faz Manuel Alegre em "A Senhora das Tempestades".

Com este poema W. Blake pretende contestar o poder ditatorial da razão conquistado durante o Iluminismo. Ele rejeita a submissão da imaginação à razão e faz da energia a forma da verdadeira existência.

Frequentes utilizações da palavra ocorrem também, como sinal da época, nos poemas de um grande cientista inglês, Sir Humphry Davy, que frequentava os meios literários e filosóficos (ver a este respeito Elkana, 1974). Sir Humphry Davy era contemporâneo e colega na mesma instituição de Thomas Young, que vai tomar a palavra energia e utilizá-la no contexto científico.

A ideia de energia no pensamento

Delon afirma que a ideia de energia nos permite aceder a uma nova visão do universo. Com efeito, ele escreve:

"Si, dans une perspective très générale, l'énergie, avec le mouvement, participe d'une nouvelle vision du monde qui aux essences substitue des devenir et des existences, le terme se trouve dans les domaines les plus divers, dans la production scientifique aussi bien que littéraire, dans l'approche physiologique aussi bien que psychologique de l'homme. Les rationalistes de la sensation l'ont en commun avec les apôtres du sentiment" (p.31).

A energia é, deste modo, uma chave para a compreensão de todos os novos movimentos que aparecem nos diferentes domínios.

Da grande variedade de aspectos na utilização da palavra energia tomaremos os seguintes para uma caracterização geral da noção de energia (por se tratar dos que, sendo mais universais, nos permitem passagens para o conceito científico):

- A energia como nova visão do universo onde todos os seres estão em relação, através das suas existências, como afirma Delon.
- A energia está sempre "au point vif de la contradiction". Delon mostra como movimentos antagonistas tomam com convicção a ideia de energia como aspecto importante das suas identidades.
- As significações e os diferentes papéis desempenhados pela noção de energia.

Concretizaremos estes aspectos, de forma sumária, no ponto seguinte para o caso das Belas Artes.

Poderíamos perguntar se uma noção integradora de energia, essencial para a construção de uma visão da cultura, terá de pagar um preço através da redução do seu campo de significações. A resposta é não - as diferenças estão lá, sobretudo no que diz respeito à interpretação da natureza da energia (ver, por exemplo, materialistas versus espiritualistas⁴).

É, no entanto, possível identificar modos comuns de "existência para a ideia de energia nos diferentes movimentos: os modos das transferências e das mudanças (das transformações). É sempre uma forma de actividade, mesmo se toma uma dimensão invisível. No Iluminismo é da actividade da razão que se trata, no Romantismo é a actividade da sensibilidade que está em cena.

Com estes modos comuns de "existência" da ideia de energia é possível desenvolver pontes entre os diferentes fragmentos do pensamento e da cultura em geral. A ideia de energia é tomada como um elemento integrador. Este papel de integração deve ser encarado não como um desejo de reduzir toda a diversidade a um mesmo elemento, mas sim como um desejo de desestabilização das hierarquias existentes na nossa visão do universo. Como afirma Delon:

"à la traditionnelle disproportion entre l'univers et l'homme succède une exaltante participation de l'individu à l'énergie du tout" (p.189).

Este aspecto pode ser ilustrado pelo quadro de Caspar Friedrich (1808-1809) "le moine au bord de la mer". A propósito deste quadro um crítico português escrevia:

"a natureza é calma e o homem (o monge) funciona como testemunha de uma grandeza sobrenatural do mundo" (Porfírio, 1992). Mas quando olhamos para este quadro sentimos que o monge é muito mais do que uma "testemunha de uma grandeza sobrenatural do mundo", ele participa desta grandeza através das trocas (de energia) que se dão entre o monge e o cosmos. Dos quadros de Caspar Friedrich e de William Turner emerge uma noção de energia com os atributos anteriormente referidos com a diferença de que nos quadros de Turner há uma actividade explícita que parece tudo contaminar, enquanto que nos quadros de Friedrich a actividade, de ligação entre vários mundos bem separados (a areia, o mar, o céu, o monge) é pressentida com muita intensidade.

⁴ A conservação da força permite a Nicholson (1871) a seguinte reflexão, tentando esbater a fronteira entre materialistas e espiritualistas:

"The Universe is one mighty system of changes, and these changes arise from the inseparable connection between matter and motion; and Dr. Bence Jones says truly, «the question between materialism and spiritualism is in fact only a question between ponderable materialism and imponderable materialism»" (p.48, Nature, May 18, 47-48). Claro que este é um discurso de um materialista, Mayer, Colding e outros separaram a força da matéria.

Esta noção de energia é, também, evidente num conto de Hans Christian Andersen, intitulado "O sino". Este conto foi inspirado na visão do mundo de Ørsted, cientista dinamarquês⁵, por quem Andersen tinha uma estima especial⁶. Com efeito, é colocado em cena um mundo harmonioso e espiritual onde há trocas intensas.

O papel integrador e subversivo da ideia de energia: o caso das Belas Artes

Até meados do século XVIII havia, numa grande parte da Europa, uma separação hierárquica entre as artes que se desenvolviam sob a égide da imitação (é o caso da pintura, da dança, do teatro) e aquelas cuja estética não assenta na imitação, como é o caso da música. Mas a música torna-se cada vez mais importante e o seu lugar na cultura ultrapassa e subverte a ordem hierárquica estabelecida de acordo com o poder de imitação. Poderemos então perguntar que outro poder entra em cena? É ao tentar responder a esta questão que a palavra energia toma um lugar importante. Há necessidade da palavra energia "depuis qu'on a des convulsions en entendant la musique".

Qual é, então, o efeito sobre as outras artes da descoberta deste novo poder?

Vejamos, por exemplo, um texto de Noverre (1760), director dos ballets na Ópera de Paris:

"Il n'est pas possible d'imprimer cet intérêt en récitant machinalement de beaux vers, et en faisant tout simplement de beaux pas; il faut que l'âme, la physionomie, le geste, les attitudes parlent toutes avec autant d'énergie que de vérité. (...) Ils (les danseurs) doivent également enchaîner le public par la force de l'illusion, et lui faire éprouver tous les mouvements dont ils sont animés. Cette vérité, cet enthousiasme qui caractérise le grand acteur, et qui est l'âme des beaux-arts, est si j'ose m'exprimer ainsi, l'image du coup électrique; c'est un feu qui se communique avec rapidité, qui embrase en un instant

⁵ Ørsted foi acusado de ser romântico. Foi ele o conselheiro no desenrolar dos trabalhos de Colding sobre a energia. Colding foi um dos protagonistas da descoberta da energia. Os seus textos exibem uma espiritualidade intensa. Quando, em 1864, escreve para o *Philosophical Magazine* afirma:

"the direct action of forces of nature is to liberate themselves from intimate connexion with matter" (p.63).

Ørsted teve grande influência sobre Colding:

"Colding seems greatly to have been influenced by the philosophy of his teacher and master, and thus developed an almost mystical belief in the 'Naturkraft'" (Elkana, 1974, p.118).

Sobre o percurso de Colding:

"[he] was a Danish carpenter, who very early became acquainted with Oersted, and on the latter's advice studied at the Copenhagen Arts Academy, became a journeyman and got acquainted with various machines while preparing drawings for the Royal Mint" (id., p.118).

⁶ A este respeito escreve Abraham Pais (1991):

"Hans Christian Andersen said of Ørsted: 'He was the man I loved best', and in his charming tale 'The clock' portrayed Ørsted as a prince, himself as a poor boy" (p.97).

l'imagination des spectateurs, qui ébranle leur âme et qui ouvre leur coeur à la sensibilité"

(p.143, os sublinhados são da nossa responsabilidade).

Escolhemos este pequeno texto porque ele ilustra bem os aspectos que nos interessa enfatizar. Com efeito, começamos por constatar, através das palavras de Noverre, que a verdade, quer dizer a imitação, já não é suficiente como finalidade para a obra de arte. Ao lado da "verdade" Noverre faz emergir a energia como dimensão expressiva, responsável pelo estabelecimento de fluxos entre os artistas e os públicos, fonte de acontecimentos para a imaginação e sensibilidade⁷. Os públicos deixam de ser vistos como entidades separadas relativamente ao produto artístico.

Um outro aspecto a relevar neste texto é o poder unificador desta linguagem centrada numa noção de energia que permite uma passagem quase natural da dança às belas-artes em geral.

Vejamos, de uma forma muito sumária, o que se passa na pintura.

Alpers (1983) faz apelo a uma expressão de Hooke (em *Micrografia*, 1664) para caracterizar a pintura figurativa holandesa do século XVII: "Com uma mão sincera e olhos fiéis". Porque é que uma frase escrita num contexto científico se revela tão significativa para a pintura? Porque é que uma investigadora do domínio da teoria sobre as artes vai tomar como referência as palavras de um cientista? Como afirmam Shapin e Shaffer (1993), Alpers ao procurar "colocar em evidência os princípios subjacentes à predilecção dos holandeses pela pintura figurativa e as convenções às quais se submete a produção destas obras pintadas" descobre que:

"tant la peinture figurative hollandaise que la science empirique anglaise impliquaient une métaphore du savoir: «J'entends par là une culture dans laquelle il est présumé que nous connaissons ce que nous connaissons à travers le reflet produit sur l'esprit par la nature». Le fondement d'une certaine forme de savoir consistait à se rendre témoin de la nature. L'art du peintre et celui de l'expérimentateur renaient ainsi à former des représentations qui imitaient avec fidélité ce que l'on voyait de ses propres yeux" (p.23, o sublinhado é nosso).

Alpers coloca em evidência o reinado da imitação que será, mais tarde, desestabilizado com a ideia de energia. Há que acrescentar que estas ideias são válidas para a pintura do norte da Europa mas não para o caso da pintura italiana, como Alpers nos faz "ver". Precisemos que

⁷ Também os textos de alguns protagonistas da invenção do conceito científico contêm o rasto de acontecimentos para a imaginação e sensibilidade.

quando Delon fala das artes sob o signo da imitação ele pensa sobretudo no que se passa em França, na Grã-Bretanha e na Alemanha. É neste espaço que ele procura os valores que a ideia de energia adquire. Estamos perante uma coincidência interessante: os países que interessaram Delon - por permitirem a visão que ele nos propõe - são os mesmos que mais relevância têm para o desenvolvimento do conceito científico.

Nos finais do século XVIII, como afirma Delon:

"l'idée d'énergie apparaît comme un coin qui menace la toute-puissance du principe d'imitation" (p.111).

Assiste-se, então, à emergência de novos ideais estéticos. A nitidez da paisagem dá lugar a uma paisagem quase abstracta: é o caso das paisagens de W. Turner. Na figura 3.1 podemos



Figura 3.1 *Tintagel Castle*, Turner, 1815 (figura retirada da obra *Turner and the Scientists*, p.57).

apreciar esta passagem da nitidez para a tendência abstraccionista. Com efeito, neste quadro de Turner encontramos ainda a nitidez associada a um mundo de “forças” mecânicas e uma outra estética associada às “forças” cósmicas. A paisagem envolvente perdeu em nitidez e ganhou em comunicação entre os diferentes elementos da

paisagem.

Contrariamente a Caspar Friedrich nas paisagens de Turner encontramos a explicitação de um movimento cósmico que nos faz, por exemplo, ver as cidades como participando de um todo energético. Mas esta energia pode tomar uma dimensão ameaçadora para o homem ou, como afirma Delon:

"[ces tableaux] donnent le sentiment d'une puissance du paysage qui bouleverse les petits conventions de l'être social et le confronte à une énergie insoupçonnée" (p.189).

Podemos também ver Turner como o primeiro paisagista da sociedade "chaude" (J. Grinevald, 1976), ou, utilizando uma expressão de Michel Serres, Turner traduz Carnot.

Contudo, estes novos movimentos, que muito devem à ideia de energia, não anulam a corrente que defende que a pintura da paisagem deve continuar a desenvolver-se com "uma mão sincera e olhos fiéis". Esta corrente defende a sua sobrevivência passando a integrar a noção de energia:

"le peintre doit choisir le site où la nature apparaît dans toute son énergie, le point de vue qui permet de transformer un paysage monotone en une peinture variée ou encore le moment qui ouvre un lieu à la rêverie, libère l'imagination" (Delon, p.119).

Estes paisagistas através das escolhas do local e do momento colocam em cena uma energia que transforma e que se comunica.

Podemos assim dizer com Delon que a ideia de energia "se situe au point vif de la contradiction entre une esthétique de la représentation et une esthétique de l'expressivité" (p.114).

Nós somos herdeiros deste poder expressionista da palavra energia e ela continua a ocupar um lugar de relevo nos textos sobre arte.

Já nos princípios do século XX a palavra energia é de novo recuperada por diferentes movimentos na pintura. É a influência dos textos de Ostwald que se faz sentir sobre determinados grupos como é o caso do movimento expressionista na Alemanha.

Como escreve Roland Märtz (1997) no catálogo da exposição "German Expressionism", no artigo "Art and Society:

"For Marc, the animal - the symbol and embodiment of the 'pure ideas forming the basis of the construction of the world' - represented only an intermediate stage before reaching the dematerialized and abstract representation where there are echoes of Albert's Einstein theory of relativity, Max Planck's quantum theory, Wilhelm Ostwald's theories on energy and Niels Bohr model of atom" (p.64, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Os textos de Ostwald sobre a energética seriam os mais lidos pelos pintores desta época por serem de leitura acessível e por tocarem uma temática que permitia uma certa ligação com os românticos, o que interessava os expressionistas e, principalmente, por traduzirem uma visão unificada do mundo (natural, social, psicológico, cultural).

3.3 O conceito científico de Energia

A paisagem da emergência do conceito científico de energia é muito rica e cheia de bifurcações. Isto dá-nos um potencial de produção de múltiplas histórias, que dependem das questões formuladas e dos caminhos escolhidos, como veremos. De momento, não pretendemos contar uma das histórias possíveis, o que vamos fazer é "olhar" o conceito científico, através das categorias que utilizámos para explorar a ideia geral de energia.

"L'énergie est au point vif de la contradiction"

Muitos historiadores da ciência, Elkana por exemplo, consideram que o conceito emerge com o enunciado do "princípio de conservação da força", como foi designado na época - o enunciado mais preciso deste princípio, na época da sua emergência, foi dado por Helmholtz em 1847.

Este princípio foi enunciado por vários cientistas de formações muito diversas, com estilos e interesses muito diferentes e como resultado de caminhos muito variados. A este respeito escrevem Alliez e Stengers (1984):

"la conservation de l'énergie apparaît en fait comme point de convergence entre des lignées problématiques et expérimentales jusque là disparates qui peuvent chacune y voir leur aboutissement et l'interpréter dans leurs propres termes. Elle constitue en ce sens un point de «suspense» où se joue, selon l'interprétation adoptée, selon la tradition reconnue dominante, l'interprétation de l'ensemble des résultats de toutes les lignées qui convergent sur elle" (p.162).

Mais adiante, colocaremos em evidência estas diferentes linhas problemáticas mas podemos desde já pressentir um lugar para este conceito "au point vif de la contradiction". Com efeito, como escrevem Alliez e Stengers:

"à partir de ces lignées différentes, trois grands types d'interprétation peuvent être dégagées à propos de la notion de conservation de l'énergie. Pour certains (ce sera le cas de Poincaré et de Duhem), la conservation de l'énergie («il y a quelque chose qui demeure constant») est un principe d'investigation, dont la vérité n'a d'autre aune que la fécondité. Pour d'autres (tel Ostwald), la différence qualitative entre les différentes formes d'énergie

est irréductible, et la mécanique n'est donc qu'une science parmi d'autres. Pour d'autres encore, la conservation de l'énergie implique la possibilité de réduire toutes les formes d'énergie à une seule, l'énergie mécanique (énergie potentielle déterminée par les forces d'interaction entre les corps, et énergie cinétique liée à leur mouvement)" (p.162).

Vemos, assim, desenhar-se um antagonismo entre o segundo e o terceiro grupo. Na verdade, o terceiro grupo, os mecanicistas, representa o coroar de uma certa tradição (este grupo toma o conceito de energia como instrumento de alargamento do seu poder - ver Segunda versão do "Tratado de Filosofia Natural" de Tait e Kelvin) e o segundo representa um novo olhar sobre as ciências físicas, que se desenvolve à volta do conceito de energia. Entre estes dois grupos ocorrerão polémicas muito vivas. Tal como aconteceu entre os defensores de uma estética da imitação e os partidários de uma estética da expressividade.

A Física, agrupamento de conteúdos como a mecânica, o som, a luz, a electricidade, o magnetismo e o calor, nasce no princípio do séc.XIX como corpo de conhecimento científico sob a jurisdição da matemática (Cardwell, 1989). Estando o formalismo da mecânica mais desenvolvido, esta ocupava um lugar privilegiado neste corpo de conhecimentos científicos. A falta que se fazia sentir de uma certa unidade conceptual entre estes domínios será ultrapassada com a emergência do conceito de energia que se torna o fulcro de duas concepções diferentes de unidade: coroação da hierarquia estabelecida (a diversidade pode ser reduzida a um único elemento, é o sonho dos mecanicistas - tudo reduzir à mecânica), ou desestabilização da hierarquia existente - a mecânica é uma ciência entre outras. Ou seja, a energia continua a situar-se "au point vif de la contradiction". E é este lugar que faz da energia uma noção fundamental para uma concepção unificada dos fenómenos físicos (Jammer, 1957), uma noção fundamental para a unificação dos fenómenos físicos, químicos e biológicos (Mayer, 1845). Sobre o poder unificador de Mayer, no desenvolvimento do conceito de energia, escreve Tyndall (1864):

"Mayer expands his conceptions from the union of atoms to the union of worlds" (p.35).

A energia como actividade (os fluxos e a transformação)

Mayer escreve num dos seus importantes artigos (1845):

"it can be proved a priori and confirmed everywhere by experience that the various forms of forces can be transformed into one another.

In truth there exists only a single force. In never-ending exchange this circles through all dead as well as living nature. In the latter as well as the former nothing happens without form variation of force!" (p.286).

Encontramos neste texto uma noção de energia (ainda designada por "força") unificadora entre o mundo vivo e o mundo inanimado, centrada nas ideias de troca e de transformação. Tomemos como exemplo a introdução de "Mémoire sur la Conservation de la Force" de Helmholtz (1847). Este texto põe-nos em paralelo a "matéria" e a "força". De acordo com Helmholtz "a ciência considera os objectos do mundo exterior sob dois pontos de vista distintos, que poderíamos designar como o ponto de vista da existência passiva (a matéria) - que corresponderia, na terminologia de Delon, à essência - e o ponto de vista da existência activa (as forças) - que de acordo com Delon seria a "existência":

"La matière pure serait indifférent à tout le reste du monde, puisqu'elle ne modifierait aucun objet voisin et n'affecterait pas non plus nos organes" (Helmholtz, 1869 – trad. do texto de 1847 - p.60).

A natureza revela-se através da sua actividade. Como afirma Helmholtz "nós não conhecemos e não podemos conhecer senão a matéria activa". Ou como dirá Ostwald, mais tarde (1910):

"Nous ne connaissons du monde extérieur que ses énergies: aussi pouvons-nous exprimer en termes d'énergie tout ce que nous savons sur lui. De là l'incomparable valeur du concept d'énergie pour la description et explication de tout phénomène naturel" (p.17, em Les fondements énergétiques, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Escolhemos estes textos para mostrar que quando os cientistas falam dos conceitos eles não podem colocar-se do lado de fora da cultura onde "existem". Evidentemente que se lermos um texto científico contemporâneo não encontraremos este tipo de ocorrências, no que diz respeito à energia. O conceito segue depois um trajecto próprio. Mas para pensar algo de novo o cientista tem de recorrer às imagens e à linguagem de que dispõe num determinado momento, ou seja, tem de pensar com os instrumentos da cultura envolvente. É preciso olhar a ciência "en train de se faire", como diria Bruno Latour, para encontrar estas ligações.

A palavra energia entra nos cenários científicos

Como já referimos o conceito científico emerge sem que o nome energia lhe seja atribuído. Tal facto acontecerá apenas dez anos depois de o conceito ter começado a despontar, embora Young tenha em 1807 utilizado a palavra. A discussão e o estabelecimento do nome decorreu, essencialmente na Grã-Bretanha.

A este respeito escreve Rankine (1881):

"About the beginning of the present century, the word «energy» had been substituted by Dr. Thomas Young for «vis viva», to denote the capacity for performing work due to velocity; and the application of the same word had at a more recent time been extended by Sir William Thomson to capacity of any sort for performing work. There can be no doubt that the word "energy" is specially suited for that purpose; for not only does the meaning to be expressed harmonise perfectly with the etymology of *energeia*, but the word «energy» has never been used in precise scientific writings in a different sense" (p.230).

Sobre a mesma questão escrevia Tait (1864):

"But the term Energy (as Tyndall surely is aware) is due to Young, who introduced it as a convenient English term synonymous with *vis viva*. Its extension to the two forms «static» and «dynamic» was made by Thomson. Rankine improved these to «potential» and «actual»; and in 'Good Words' Thomson and I have employed «kinetic» as less ambiguous and more suggestive than «actual»" (p.292).

Estes dois autores, Tait e Rankine, conjuntamente com Kelvin ajudaram a fixar este novo termo, embora tenha sido Kelvin o primeiro a utilizá-lo (1851) para designar o conceito que emerge a meados do século dezanove. Desde as primeiras utilizações deste termo até à sua generalização irão decorrer muitos anos que traduzem, de certa forma, o longo percurso de clarificação do conceito.

O que é interessante notar nos discursos dos protagonistas deste acontecimento é a ligação que estabelecem com a utilização feita por Young no princípio do século. Encaram a conservação da energia como a extensão da conservação da *vis viva* e Rankine considera a escolha do termo feita por Young adequada por ir de encontro à significação etimológica do termo (actividade), que se tornará ainda mais pertinente com a extensão feita por Kelvin. Nesta extensão relevamos o carácter expressivo do termo em contexto científico. Embora

estejamos muito longe do que chamámos de poder expressivo quando referimos os artistas românticos não deixa de ser interessante notar o facto de que a novidade da utilização da palavra na cultura envolvente residia no poder expressivo de muitos aspectos da existência humana, também no contexto científico se utilizou para exprimir algo de muito valioso, que para muitos correspondia a dar expressão à natureza. Ou seja, não será por acaso que a palavra é utilizada para designar um princípio com um valor tão universal como este. Quando folheamos algumas das revistas científicas da época, como é o caso da *Philosophical Magazine* ou da *Nature*, encontramos textos sob as mais diversas temáticas que integram na sua argumentação o princípio de "conservação da força", como continua a ser designado durante muito tempo. É o caso por exemplo do artigo "The smaller lectureships at the London Medical Schools" (*Nature*, 1871, Maio 4, 1-2) que tem por subtítulo "The Conservation of Force" e que pretende problematizar a educação médica.

Para Tait o que está em causa, na nova designação de Young, é a escolha de um termo inglês para substituir o termo *vis viva*.⁸

Não nos parece, no entanto, pela leitura dos textos de Young que a sua preocupação tivesse sido a de encontrar o termo inglês para *vis viva*, aliás a expressão que ele utiliza é "living force". Poderemos especular sobre a sua necessidade de alterar esta designação, talvez ele a considerasse demasiado antropomórfica, embora a primeira razão que ele explicita é a necessidade de uma designação mais concisa.

Ao abordarmos os textos de Young, concretamente os textos reunidos em "A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts" (1807), não podemos deixar de referir a sua clareza e a sua beleza⁹. As palavras e os exemplos são muito cuidados; as figuras, pintadas, são obras de arte. Folhear livros como estes na atmosfera intimista da British Royal Library, reservada aos livros antigos, produz uma emoção que nos liga de forma especial à obra em questão. A primeira referência à palavra energia ocorre no livro 1, na lição V. Reconhecemos aí uma parte do significado clássico, retomado em muitas das utilizações dos finais do século dezoito, princípios do século dezanove, - complemento entre o possível e o real (ver Valente, 1993) - incorporado no discurso científico.

Transcrevemos aqui uma parte do texto, onde é introduzida a palavra energia:

⁸ Refira-se que Tait se viu envolvido em muitas polémicas, no que diz respeito ao desenvolvimento da noção de energia, que poderão ter uma raiz num nacionalismo exarcebado.

⁹ Por exemplo, quando ele escreve:

"The contemplation of the particular phenomena, as they are displayed in the universe at large, contributes perhaps less to the perfection of any of the arts, which are immediately subservient to profit or convenience, than the study of mechanics and hydrodynamics. But the dignity and magnificence of some of these phenomena, and the beauty and variety of others, render them highly interesting to the philosophical mind, at the same time that some of them are of the utmost importance in their application to the purposes of life" (livro 1, p.13)

"The velocity of a body, descending along a given surface, is the same as that of a body falling freely through an equal height, not only when the surface is a plane, but also when it is a continued curve, in which the body is retained by its attachment to a thread, or is supported by any regular surface, supposed to be free from friction. We may easily show, by an experiment on a suspended ball, that its velocity is the same when it descends from the same height, whatever may be the form of its path, by observing the height to which it rises on the opposite side of the lowest point. We may alter the form of the path which it descends, by placing pins at different points, so as to interfere with the thread that supports the ball, and to form in succession temporary centres of motion; and we shall find, in all cases, that the body ascends to a height equal to that from which it descended, with a small deduction on account of friction.

Hence is derived the idea conveyed by the term living or ascending force; for since the height, to which a body will rise perpendicularly, is as the square of its velocity, it will preserve a tendency to rise to a height which is as the square of its velocity, whatever may be the path into which it is directed, provided that it meet with no abrupt angle, or that it rebound at each angle in a new direction, without losing any velocity. The same idea is somewhat more concisely expressed by the term energy, which indicates the tendency of a body to ascend or to penetrate to a certain distance, in opposition to a retarding force" (pp. 43-44, London: Printed for Joseph Johnson, St. Paul's Church Yard).

No livro 2 aparece a definição da energia:

"347. Definition. The product of the mass of a body into the square of its velocity may properly be termed energy.

Scholium. This product has been called the living force or ascending force, since the height of vertical ascent is in proportion to it; and some have considered it as the true measure of the quantity of motion; but although this opinion has been very universally rejected, yet the force thus estimated well deserves a distinct denomination" (p.52).

É interessante ver como Young utiliza a palavra para designar o que hoje se designa por energia cinética e não para designar o que hoje se designa por energia potencial. É a actividade, associada à energia cinética, que lhe sugere o nome.

O trio de cientistas britânicos, já referido, que mais tarde retoma o nome energia, sente necessidade de a adjectivar. Assim Rankine (1853) escreve no seu artigo "On the General Law of the Transformation of Energy":

"In this investigation the term *energy* is used to comprehend every affection of substances which constitutes or is commensurable with a power of producing change in opposition to resistance, and includes ordinary motion and mechanical power, chemical action heat, light, electricity, magnetism, and all other powers, known or unknown, which are convertible or commensurable with these. All conceivable forms of energy may be distinguished into two kinds; actual or sensible, and potential or latent.

Actual energy is a measurable, transferable, and transformable affection of a substance, the presence of which causes the substance to tend to change its state in one or more respects; by the occurrence of which changes, actual energy disappears, and is replaced by *Potential energy*, which is measured by the amount of a change in the condition of a substance, and that of the tendency or force whereby that change is produced (or, what is the same thing, of the resistance overcome in producing it), taken jointly" (p.106).

Este procedimento de unificação da variedade crescente de formas de energia será absolutamente necessário no processo de abstraccionismo da noção de energia? Esta questão será retomada na Parte Terceira. Estas designações foram questionadas, nomeadamente por Sir John Hershel, a quem Rankine responde no artigo intitulado "On the phrase «Potential Energy» and on the Definitions of Physical Quantities (Miscellaneous Scientific Papers: W. J. MacQuorn Rankine, London: Charles Griffin and Company, 1881; Phil. Mag. 1867, vol. XXXIII, 89-93). Esta discussão é vital para que a questão do nome ganhe um relevo explícito. Neste artigo Rankine escreve:

"1. In the course of an essay by Sir John Hershel 'On the origin of Force', which appeared some time ago in the *Fortnightly Review*, and has lately been republished in a volume entitled 'Familiar Lectures on Scientific Subjects' the opinion is expressed that the phrase 'potential energy' is 'unfortunate' inasmuch as it goes to substitute a truism for the announcement of a great dynamical fact' (Familiar Lectures, p.469).

There is here no question as to the reality of the class of relations amongst bodies to which that phrase is applied, nor as to any matter of fact concerning those relations, but as to the convenient and appropriate use of language. This is a sort of question in the decision of which authority has much weight; and when an objection to the appropriateness of a term is made by an author who is not less eminent as a philosopher than as a man of science, and whose skill in the art of expressing scientific truth in clear

language is almost unparalleled, it becomes the duty of those who use that term to examine carefully their grounds for doing so" (p.88).

E mais adiante continua:

"8. It appeared to me, therefore, that what remained to be done, was to qualify the noun "energy" by appropriate adjectives, so as to distinguish between energy of activity and energy of configuration. The well-known pair of antithetical adjectives, "actual" and "potential", seemed exactly suited for that purpose; and I accordingly proposed the phrases "actual energy" and "potential energy", in the paper to which I have referred.

9. I was encouraged to persevere in the use of those phrases, by the fact of their being immediately approved of and adopted by Sir William Thomson; a fact to which I am disposed to ascribe, in a great measure, the rapid extension of their use in the course of a period so short in the history of science as fourteen years" (p.230, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Se para Hershel é muito forçada a elaboração de uma noção de energia potencial, para Rankine é essa dimensão que dá um carácter de "completeness" à noção de energia. Neste sentido escreve:

"momentum and angular momentum possess, like energy, the property of conservation; but they do not possess the property of completeness, inasmuch as they take into account actual motions only, and not tendencies to move. Attraction takes into account tendencies to move only, and not actual motions. Energy alone takes all those relations into account" (1859, p.348).

Novas significações associadas ao conceito de energia

A energia, através da sua conservação, vem estabelecer ligações entre fenómenos muito diferentes (ver os exemplos trabalhados por Mayer no seu artigo de 1845, aí ele passa do domínio inorgânico ao domínio da fisiologia) mas estas ligações são simplesmente de ordem quantitativa, da ordem da medida. Como dizia Mayer (1863), a propósito do movimento e do calor:

"The relation which, as we have seen, subsists between heat and motion has regard to quantity, not to quality" (p.515).

O conceito científico de energia será clarificado com o desenvolvimento do que se tornará o segundo princípio da termodinâmica (nascimento da noção de entropia). Assim, a conservação é complementada com este princípio tornando-se a conservação o primeiro princípio. A propósito destes dois conceitos, energia e entropia, Gillispie (1966) escreve:

"Both of them , moreover, are highly sophisticated and abstract representations of certain elementary experiences of the world, certain serious intuitions: Energy, of the intuition that there is na activity, a «force» in things beyond matter in motion, that something real makes nature go (...); Entropy, on the other hand, of the complementary experience of water seeking its own level, of hot bodies cooling, of springs untensing (...), of a destiny such

«That no life lives forever;
That dead men rise up never;
That even the weariest river
Winds somewhere safe to sea»" (p.400).

Com o desenvolvimento destes dois princípios os cientistas introduzem novas significações quando falam deste conceito. Por exemplo, Lindsay (1975) afirma que "a ideia fundamental no conceito de energia é: a permanência, por entre toda a mudança". Ogborn (1989) propõe olhar a mudança como produzida pela diferença e limitada pela energia. Ostwald (1834) refere-se à energia num duplo sentido:

"elle constitue un pôle immobile dans la mobilité des phénomènes, et en même temps, la force d'impulsion qui fait tourner le monde des phénomènes autour de ce pôle".

Planck escreve:

"le principe de la conservation de l'énergie déclare qu'il n'y a de possibles, parmi les phénomènes naturels, que ceux où il n'y a ni création ni anéantissement, mais simplement transformation d'énergie; le second principe, allant plus loin, dit que toutes les transformations d'énergie ne sont pas possibles mais seulement un certain nombre d'entre elles et dans certaines conditions"¹⁰.

A nossa cultura vai importar do conceito científico novas formas de dizer as "coisas". Com efeito, para além de continuarmos a utilizar a energia associada a uma ideia de fluxo e de

transformação, como era o caso antes da emergência do conceito científico, dispomos agora de outras significações construídas a partir de uma certa forma de "dizer" o conceito científico. Vejamos duas utilizações da palavra energia que ilustram bem este facto.

O primeiro exemplo foi retirado de um livro de Martha Graham (1991), uma das criadoras da dança moderna, e refere-se a um discurso feito por ela aos seus dançarinos. O discurso tem um ponto alto de espiritualidade quando ela diz:

"They [the scientists] say that energy, once it is created and enters the world, can never be destroyed, it only changes. Perhaps that is why I sense so many presences in this room" (p.7).

Ela refere-se aos gestos, aos movimentos, à "energia" de todos os bailarinos que passaram por aquela sala.

O segundo exemplo foi retirado de um artigo do grande filósofo Gilles Deleuze, no Magazine Littéraire (1992): "La volonté de puissance est comme l'énergie, on appelle noble celle qui est apte à se transformer" (p.24).

¹⁰ Começamos já aqui a perceber uma separação entre Ostwald e Planck, que será trabalhada mais tarde. Para o primeiro tudo gira em torno da energia, para o segundo os dois princípios adquirem estatuto semelhante.

3.4 Algumas Considerações Finais

Neste capítulo tomámos o partido das ligações entre diferentes objectos da nossa cultura. Estas são, por vezes, no âmbito da didáctica, entendidas como "ligações perigosas", nós tentámos mostrar o seu potencial formativo. Com a valorização das ligações não pretendemos anular as especificidades de cada um dos objectos. Com efeito, elas permitem-nos ver "what place physics has in the total reality, in the context of all intellectual endeavors" (Holton, 1973, já citado).

Quisemos também evidenciar quão profícuo pode ser alargar a nossa cultura de investigação e entrar em contacto com questões colocadas no âmbito de investigações realizadas noutras áreas do conhecimento (neste caso referimo-nos às ideias de Delon que emergem da teoria sobre a literatura).

Tentámos mostrar que o início do sécXIX era herdeiro de uma cultura da energia mas não pretendemos dizer com isso que o conceito científico é o resultado dessa cultura. Muitos elementos jogam no desenvolvimento deste conceito científico e nas suas relações com a sociedade e com a cultura. Como dizia Ostwald, o conceito de energia "ferait une épopée que l'on pourrait regarder à bon droit comme celle de l'humanité".

Capítulo 4

A Energia em Mayer: um actor, uma estética

"The trick, of course, was to be able to recognize what was significant, and then to have confidence to accept it as valid"

K.L.Caneva, 1993, p.xvii.

4.1 Introdução

O estabelecimento do princípio de conservação da energia é o passo decisivo para a construção de uma noção de energia no contexto científico. Partindo da ideia de que:

"la conservation de l'énergie apparaît en fait comme un point de convergence entre des lignées problématiques et expérimentales jusque là disparates qui peuvent, chacune, y voir leur aboutissement et l'interpréter dans leurs propres termes" (Alliez e Stengers, 1984, p.162).

As primeiras questões a levantar serão quais os diferentes caminhos que convergem na conservação da energia? O que é que move os diferentes protagonistas, quais são os problemas colocados e que lugar ocupam nas vidas destes cientistas?

A tentativa de compreensão (no sentido de Mach, ver citação da página 88) da energia coloca-nos em contacto com uma multiplicidade de significações, de procedimentos, de estilos cognitivos, de valores, de abordagens à teoria do conhecimento. Entramos num campo onde proliferam histórias, experiências, ideias que se podem tornar instrumentos pedagógicos, permitindo-nos alimentar a fase do romance, permitindo-nos compor uma "flying classroom". A multiplicidade aqui referida deverá estar sempre viva ao longo do nosso trabalho, pela riqueza pedagógica que encerra e por nos permitir combater o poder dos modelos únicos no que diz respeito ao desenvolvimento do conhecimento, em particular do conhecimento científico.

Decidimos começar por uma abordagem ao desenvolvimento do pensamento de Mayer por diversas razões. Embora tenha sido ele o primeiro a explicitar um conjunto de ideias que irão estar na origem do princípio de conservação da energia não é essa a razão principal que nos leva a começar pelo pensamento de Mayer e a dar-lhe, como será o caso, um lugar de destaque. O que nos move nesta direcção é o facto de considerarmos que ele representa um bom contra-exemplo às abordagens pedagógicas de inspiração bachelardiana à construção do

conhecimento científico. Tal facto pode, desde já, indiciar uma natureza diferente do conceito de energia. Como escreve Caneva:

"Mayer's thinking was shaped at every turn by the images and usages he encountered all around him" (p.126).

Ou como diria Bruner, o seu espírito toma forma na cultura envolvente. E porque não estava inserido no meio académico, Mayer ousava colocar as questões que o seu bom senso lhe sugeria. Por isso, poderemos dizer que ele funciona dentro daquilo que Solomon designou por conhecimento geral e que, por isso mesmo, servirá para discutir a validade de algumas linhas didácticas dominantes.

A acrescentar a este móbil temos um outro que decorre da visibilidade dos passos na clarificação conceptual. Com efeito, Mayer vai dedicar toda a sua vida a esta noção, o que nos dá o ingrediente fundamental (espessura temporal) no processo de conceptualização.

No que diz respeito à noção de energia não poderá ser descurada a procura daquilo que Mach designou por "enlightment". Se, e ainda de acordo com Mach, o único caminho para isso é a construção histórica do conceito, no que diz respeito à noção de energia esse caminho passa, essencialmente, pelo acompanhamento do desenvolvimento das ideias de Mayer.

Na investigação histórica desenvolvida por nós procuraremos, tanto na abordagem ao pensamento de Mayer como ao pensamento de outros autores:

- Dar visibilidade às palavras e às expressões bonitas. A falta de adesão à aprendizagem das ciências passa, por vezes, por uma utilização muito seca das palavras. Utilizando as palavras de P. Sansot (1996, p.100) diríamos que "ce qui emporte l'adhésion, c'est le style, la manière de restituer les faits". É necessário atingir a imaginação.
- Produzir "imagens" fortes. Mayer é muito visual (Joule também, como veremos), o que faz com que as suas analogias tenham um poder especial.
- Destacar exemplos significativos. As abordagens qualitativas ocupam um lugar importante nos textos de Mayer. Os seus exemplos denunciam uma cultura e um modo de vida.
- Dar relevo às estratégias explícitas de construção do conhecimento. Mayer discute como se chega ao conhecimento. Ele é um fenomenologista e importa discutir a importância deste tipo de abordagem para o ensino-aprendizagem desta temática.
- Coleccionar histórias. Vimos com Bruner a importância das narrativas na aprendizagem das ciências. Esta dimensão está praticamente ausente no ensino das ciências. Uma das formas de produção de aulas voadoras é o recurso a narrativas interessantes e vivas.

Ao trabalhar sobre os textos de Mayer sentimos o mesmo que Caneva, transcrito na frase em epígrafe. Com efeito, o mais difícil é decidir sobre o que é que é realmente significativo. E mais, o que é que é pedagogicamente significativo?

O *corpus* que está na base deste capítulo é constituído, essencialmente, pelos textos de Mayer em traduções inglesas.

A ele juntaremos os trabalhos publicados por historiadores da ciência que nos ajudaram a construir os contextos do pensamento de Mayer. De entre eles destacaremos Lindsay, Caneva e Heimann.

4.2 MAYER - um estilo, um modo de vida, uma época



Figura 4.1 *Heilbronn from the Neckar*, Turner, 1844 (retirada do livro *Turner in Germany*, 1995, p.214)

"Here was a man of genius working in silence, animated solely by a love of his subject, and arriving at the most important results some time in advance of those whose lives were entirely devoted to Natural Philosophy"

Tyndall, 1862, p.65.

Alguns dados biográficos

J. R. Mayer nasceu em Heilbronn (Alemanha) a 25 de Novembro de 1814. Heilbronn era na época, como Lindsay (1973) sugere, "a quiet country town with roots going back to the eighth century when it was part of the Frankish crown-lands" (p.3). Esta cidade industrializar-se-á ao longo do século XIX, mais intensamente na segunda metade do século. Na verdade, na primeira metade do século ela parece conservar a atmosfera de tranquilidade referida por Lindsay. William Turner, que viajou bastante na Alemanha (aproveitando o grande desenvolvimento, na época, das linhas férreas) e que tentou capturar as diferentes atmosferas

das diferentes regiões, pintou "Heilbronn from the Neckar" em 1844¹. A atmosfera aí representada é, utilizando as palavras do crítico de arte Simon Corbin (1995), de uma "impressionist tranquility".

Nesta atmosfera paisagística podemos imaginar como o "movimento" poderá ser vivido como um verdadeiro acontecimento. Os barcos que passam, os moinhos em actividade, as crianças que brincam junto ao rio com miniaturas dos mecanismos que povoam a região.

Podemos imaginar uma infância fascinada pelo "movimento" visível.

Podemos imaginar como uma paisagem de imbricação entre o natural e o artificial possa ser uma fonte importante de questões, nomeadamente no que diz respeito às relações do humano com a natureza (não haverá também um lado espiritual numa natureza que tentamos usar materialmente em nosso proveito? O que é que o artificial nos ensina sobre a essência da natureza?).

A gravura seguinte (fig.4.2) ilustra bem a ideia da paisagem tranquila. Em 1840, essa atmosfera não tinha ainda sido destruída pela chegada das máquinas a vapor. Elas estão lá, mas ainda não "incendiaram" a paisagem. O contrário do que se passa, na mesma época, na

região de Manchester, onde vive Joule.



Figura 4.2. Gravura de G. Schwab em *Wanderungen durch Schwaben*, 1840, (retirada do livro *Turner in Germany*, 1995, p.215.

O pai de Mayer era um farmacêutico que se interessava bastante pela química e pelas experiências científicas em geral (Lindsay, p.3). O irmão mais velho seguiu o pai nos negócios farmacêuticos. De acordo com Lindsay, a família orientou Mayer para o curso de medicina.

A educação científica escolar de Mayer foi mínima. Ele seguiu, como era habitual na época, o currículo clássico, essencialmente

¹ É interessante constatar que Turner estava instalado em Heilbronn na mesma altura em que Mayer tentava "cristalizar" o seu conceito de força. Os quadros de Turner desta época foram muito mal recebidos tanto no Reino Unido como na Alemanha. Como escreve Cecilia Powell (1995) "German painters and critics alike have consistently found his work too vague and too extravagant for their liking, even at a surprisingly early date. Part of the reason lays in traditional German love of drawing, clarity and truth to nature" (p.17). As críticas ainda estavam muito centradas numa estética da representação (ver capítulo 3). A acusação de falta de nitidez tornou-se acentuou-se muito relativamente a estes quadros (paisagens da Alemanha). O mesmo "destino" tiveram as ideias de Mayer na época.

De acordo com Cecilia Powell "Turner's relationships with poets and with other painters who had deep and varied interests in Germany contributed much to his vision of the country as well as his knowledge and exploration of it" (p.17). Ou seja, as pinturas de Turner traduzem a sua forte ligação às situações, fomentada através da experiência, da poesia e da literatura. Também aqui encontramos alguns pontos de contacto com Mayer.

centrado no estudo das línguas clássicas. Mas em casa, como conta Lindsay, ele desenvolvia o gosto pelas experiências, orientado pelo seu irmão. Tinha, então, oportunidade de desenvolver a sua curiosidade pelos conhecimentos em física, química e biologia. Como conta um dos seus amigos, Gustav Rümelin:

"[Mayer's house] was filled with physical and chemical apparatus and instruments, botanical and mineralogical collections, medicinal plants, and many books, especially travel accounts. He recalled that Mayer performed experiments and exhibited curiosities to his friends, skillfully operating an air pump and various electrical devices. Young Mayer was familiar with elementary chemical procedures, could identify the contents of most of his father's apothecary canisters and tell what they were used for, and could name plants according to the Linnaean system" (Caneva, p.3).

O curso de medicina que Mayer seguiu, na Universidade de Tübingen era muito orientado para a prática. Como escreve Caneva: "with the exception of a physics course during his first semester, his five-year program of study was devoted entirely to his medical training" (p.4).

Acabado o curso de medicina ele empreende a famosa viagem onde toda a sua aventura científica começa, como veremos. Regressado a Heilbronn continuará a trabalhar nas suas ideias tentando publicá-las, sem sucesso, em 1841. Será no ano de 1842 que Mayer vê o seu primeiro artigo publicado.

Depois da viagem aventureira o regresso à tranquilidade de Heilbronn, onde Mayer se instala e começa a exercer a medicina. A par da sua actividade como médico Mayer investirá grande parte da sua vida no desenvolvimento do seu conceito de força e na aplicação do princípio de conservação a todos os fenómenos importantes na época. Foi muito longe nas suas ideias e ao mesmo tempo muito conservador. Recusou-se a aceitar as ideias de Darwin, que ele interpretava como uma violação à ideia de conservação.

Viveu problemas familiares muito graves: perdeu três dos seus filhos. A sua forte espiritualidade ajudou-o a lidar com estas experiências muito dolorosas. Ele era caracterizado pelos seus amigos como um espírito forte, devido à sua religiosidade e à sua espiritualidade.

Quanto à sua vida conjugal Lindsay (p.9) afirma: "there is some evidence that his domestic life was not entirely happy". E acrescenta:

"His preoccupation with his scientific investigations along with his medical practice may well have made him a somewhat difficult person to get along with, even though his general disposition is said to have been good" (id.).

A falta de reconhecimento científico e os ataques a que foi sujeito deixaram algumas feridas. Exemplo disso é um artigo de um jovem *privat-dozent* de nome Seyffer, publicado num jornal, que defendia que Mayer "was an ignarus and the mechanical theory of heat was a joke" (Lindsay, p.10).

Em 1850 Mayer passa por uma forte crise psicológica e, numa noite de insónia, salta através da janela do quarto (nove metros de altura). Na sequência desse incidente Mayer reconhece a necessidade de tratamento, dando entrada num sanatório de onde sairá em 1853.

Em 1858:

"he was made an honorary member of the Basel Academy of Natural Sciences, largely through the efforts of the chemist Schönbein. Around 1860 he began to attend scientific meetings and gave numerous general addresses" (Lindsay, p.11).

No entanto, o facto de Mayer não esquecer a sua religiosidade nas exposições de temáticas científicas fez com que os cientistas continuassem a ignorá-lo.

O seu reconhecimento internacional passa por uma polémica entre homens de ciência do Reino Unido (1862-1864), entre Tyndall e Tait e Kelvin, como efeito à divulgação dos trabalhos de Mayer na Grã-Bretanha, levada a cabo por Tyndall:

"The first open recognition by a physicist of international reputation of Mayer's claim to priority in connection with heat and work came interestingly enough from the Englishman John Tyndall, professor at the Royal Institution of Great Britain" (Lindsay, p.11).

A morte de Mayer acontece no dia 20 de Março de 1878.

Mayer e o interesse pelas experiências

Por volta dos quinze anos Mayer era apelidado, pelos seus amigos, de 'Geist' devido à sua capacidade para resolver "clever scientific tricks" (Lindsay, p.4).

Ele desenvolve desde muito cedo o gosto pelas experiências. A esse propósito temos as palavras do próprio Mayer que se conta na terceira pessoa:

"Already as a young boy, chemical and physical experiments and the construction of watermills in his hometown were much more attractive to him than the prescribed study of Latin and Greek, which frequently drew down upon him the dissatisfaction of his teachers.

It is perhaps appropriate here to recall an itself unimportant incident which, given the impressionable spirit of youth, made a lasting impression on our investigator. He must have been somewhat more than ten years old. It was a common diversion in the afternoon hours to place small waterwheels in a small brook (the Pfuhlbach) which flowed into the Neckar at Heilbronn, and by means of their rotation to move other small objects as well. Now it was on this occasion that our small man hit upon the great idea of constructing a perpetuum mobile. In his mind he fastened to the axle of such a wheel an Archimedes screw, whose operation he knew from Poppe's *Physikalisher Jugendfreund*, which he had gotten from his father for Christmas. But since when such an endless screw runs over a large cogwheel what is gained in "force" is lost in speed, he accordingly restored this loss easily again by having the large cogwheel engage a small one. Now on the axle of this small cogwheel there is again a screw, which engages a large cogwheel, etc. In this way, by means of such a transference, the boy concluded, so much force must obviously be gained that arbitrary heavy machines could be driven by a tiny waterwheel. Set straight by other, older people - namely, that by means of the transference [of motion] from a large cogwheel to a small one as much "force" is again lost as one gains in speed - he in turn quickly gave up his project, but through his error at such a young age attained the insight [that mechanical work cannot be created out of nothing]" (Mayer citado por Caneva, pp.3,4).

Importa desde já sublinhar, nesta história, a importância da procura do movimento perpétuo. Como nos conta Caneva: "in several of his autobiographical sketches Mayer told the story of his childhood fascination with machines and his abortive attempt to construct a perpetuum mobile (p.3). Veremos como esta procura do movimento perpétuo vai habitar o seu pensamento durante toda uma parte da sua vida. Esta procura vai-se deslocar do mundo inanimado para o mundo vivo, chegando sempre a uma ideia de impossibilidade de movimento perpétuo.

Mayer continuou sempre a ser seduzido pelas invenções mecânicas que iam invadindo a região:

"[Rümelin] who had gone off to the Evangelical school in nearby Schöntal in the fall of 1828 (where Mayer would join him the following spring), recalled that Mayer wrote to him then 'that he now spent his free time in the numerous and diverse mills and factories

which lay next to each other along the Neckar, studying their mechanism and assisting the people in their work" (Caneva, 1993, p.4).

E Caneva continua:

"Mayer apparently continued to be fascinated by machines' ability to do work and by the operators' ability to control their effect by means of relatively small causes. After noting, in a late essay, that people are by nature so constituted that they like to obtain the greatest possible results by expending the last means, he went on to reminisce about his boyhood fascination with machines: 'From the years of my youth I still remember very well how on free afternoons I spent many an hour in a sawmill, where by pressing on a lever and withdrawing the sluice gate the mechanism was set in motion'"²(p.4).

A descrição destes mecanismos transporta-nos para um texto de Michel Serres (1974) sobre um quadro de George Garrard de 1874:



Figura 4.3 Imagem retirada do catálogo da exposição *La Peinture romantique anglaise*, Petit-Palais, 1972, p.127

"La collection des objets mis à la montre est la *récapitulation* d'un monde parfait promis bientôt à la disparition. Hommes, chevaux, outils, vaisseaux. (...) Visiblement, c'est l'outillage qu'on a voulu mettre en valeur. D'où la *récapitulation*. Le travail est une force en mouvement, pour la mécanique. (...) Il s'agit d'un tableau, dans le sens de tabulation. Énoncer l'outillage et ne rien omettre. Tabuler tous les

produits de la mécanique, statique et dynamique. De la charpente aux mâts de charge, de la roue à la voile. Tout cela fait un monde. Un monde dessiné. Un monde dessinable. Où les chaînes dessinent le mouvement, comme les filins et aussières, où les fléaux et mâts dessinent le repos, comme la ferme et les essieux" (p.233-234).

² No fim da sua vida esta mesma questão será utilizada para a análise dos processos mentais. Mayer torna-se muito obstinado na compreensão do que lhe tinha acontecido.

Este mundo perfeitamente desenhável vai desaparecer com a chegada do calor. Os contornos tornar-se-ão menos nítidos. É o caso da pintura de Turner. Como afirma Serres "Turner traduit Carnot". O calor torna-se a chave de um mundo em rápida mutação. E será o calor o elemento chave na cosmologia de um Mayer que foi iniciado no mundo perfeito da mecânica.

Mayer cientista e o seu interesse pelas máquinas

Vimos como o jovem Mayer se fascinava pelos mecanismos que iam invadindo a região. Qual a importância deste interesse no Mayer cientista?

É bem conhecida a importância que muitos historiadores da ciência atribuem ao papel das máquinas no desenvolvimento da conservação da energia. É o caso de Kuhn. Este escreve: "all but Mayer were concerned with engines either in fact or by training". Tanto Caneva (1993) como Heimann (1976) defendem que de entre os três factores, identificados por Kuhn, determinantes da descoberta simultânea da conservação da energia (a saber: a disponibilidade de uma grande variedade de processos de conversão, o interesse pelas máquinas e a influência da *Naturphilosophie*) o interesse pelas máquinas será o único onde se poderá encaixar o caso de Mayer. Neste sentido escreve Caneva:

"of Kuhn's three 'trigger-factors' responsible for simultaneous discovery - availability of conversion processes, concern with engines, and Naturphilosophie - only the second was particularly important to Mayer, and even that one in a way quite different from its significance to others" (p.xvi).

Na sequência de tais afirmações uma questão nos ocorre: que relação efectiva poderia ter um médico com as máquinas? Tratava-se simplesmente do prolongamento natural do seu interesse, enquanto jovem adolescente, pelos mecanismos? Ou deveremos encarar este interesse à luz da proliferação, na época, de analogias entre os organismos e as máquinas? Ou deveremos ainda encarar este interesse como uma estratégia na procura dos fundamentos para uma concepção da natureza? (o artificial como chave para a compreensão do natural). Talvez coexistam todos estes interesses.

Mayer e as "crenças"

Podemos identificar em Mayer uma circularidade entre as suas convicções, as suas percepções e a produção de significações. São as suas "crenças" iniciais que mobilizam o seu pensamento na construção de significações que, por sua vez, vêm desestabilizar algumas das suas "crenças". Planck refere Mayer como um exemplo onde:

"La croyance est bien la force qui donne sa véritable efficacité à l'accumulation de faits du matériel scientifique" (p.284).

E relativamente a este estilo escreve:

"Vers le milieu du siècle dernier, on éprouvait la plus grande méfiance envers tout ce qui avait l'air de s'apparenter à la philosophie naturelle. Mayer ne se laissa pourtant pas intimider par la conjuration du silence qui était établie autour de ses travaux. Il trouvait réconfort et apaisement, non pas tant dans ce qu'il savait, que dans ce qu'il croyait" (p.284).

Dar a ver como uma ideia pode emergir numa mistura, pouco nítida, de crenças, de cultura científica e de "percepções" pode ter uma dimensão formativa importante. E porquê? Essencialmente porque nos permite discutir o mito do método científico. Com Mayer podemos, nomeadamente, viver a espessura temporal criativa que vai desde a emergência de uma ideia à produção de significações. Nos textos de Mayer poderemos apreciar um processo de crescimento conceptual sempre acompanhado de transformações nas suas ideias sobre a construção do conhecimento. E isto porque o desenvolvimento do seu conceito de força vai ocupar toda a sua vida. Como escreve Caneva:

"in concentrating their attention upon the issue of the *conservation* of energy, some historians have not fully appreciated just how important, and difficult, Mayer's creation of a tractable concept of *force* was" (p.xxi).

A circularidade de que falámos implica, portanto, a capacidade de deixar cair algumas "crenças". Na verdade, ao seguirmos Mayer vemos materializada a ideia de Michel Serres (1992):

"À chaque profonde transformation du savoir se présentent ces bouleversements de la perception" (p.108).

Mas se há "crenças" que Mayer abandonará durante o percurso de produção de significações, como é o caso da sua crença na possibilidade de criação de movimento, outras há que, sendo inabaláveis, foram o motor das suas inovações, como referia Planck: é o caso de uma concepção espiritual da natureza. Com efeito, há investigadores (como são os casos Caneva e Heimann) que colocam a dimensão espiritual no centro do desenvolvimento do pensamento de Mayer:

"On the basis of evidence admittedly circumstantial, I argue that the idea of the indestructibility of force (...) derived from ontological reflections on the relationship between matter, force, and spirit. Mayer believed that his concept of force was an antidote to materialism because it vindicated the existence of something nonmaterial in the world" (Caneva, p.xxi).

E mais adiante escreve:

"Mayer was deeply opposed to materialism, and since classical materialism recognized the existence of only matter in motion, his doctrine of force and his refusal to embrace the mode-of-motion theory of heat can be seen as a denial of one of the central components of the materialistic worldview" (p.28).

Como veremos, este aspecto coloca Mayer num polo oposto a Joule.

O tempo no desenvolvimento do pensamento de Mayer

Este aspecto já foi sendo abordado, no entanto, merece aqui um destaque especial. Em Mayer é muito nítida a importância do tempo no desenvolvimento da significação do conceito de "força". Daí a importância de Mayer para quem se interessa pela construção conceptual. O contraste que se pode estabelecer com muitas das ideias subjacentes nos *curricula* e nos manuais escolares sobre o desenvolvimento (instantâneo e definitivo) do conhecimento científico é de grande valor formativo.

Como afirma Caneva:

"Mayer's route to something like energy conservation represented a protracted process in the course of which what he was discovering went hand in hand with its changing and increasingly clarified meaning" (p.xvii, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Todo o trabalho desenvolvido a partir da sua intuição inicial é enorme como poderemos apreciar. Todo o esforço de Mayer só poderá ser entendido se conseguirmos vislumbrar a presença permanente da fase do romance. A este respeito Mayer é paradigmático.

O tempo como duração, ocupa um lugar principal no desenvolvimento deste conceito. Nunca um outro conceito parece ter suscitado tanta atenção e tantas discussões durante tanto tempo. Lembremos as discussões que nascem com Leibniz em torno da noção de *vis viva*. Mesmo depois de estabelecido o princípio de conservação da energia as discussões continuam durante mais meio século em torno do significado e da pertinência desta ideia (ver, por exemplo, Phil. Mag.).

Os estilos literário e científico de Mayer (ou, utilizando a terminologia de Shapin e Schaffer, a tecnologia literária de Mayer)

O estilo de Mayer mostra bem o gosto que ele desenvolveu pelas ficções: ele dramatiza as suas próprias vivências constituindo-as como narrativas interessantes. Como afirma Lindsay, Mayer interessava-se muito por poesia e novelas (interesses de Joule: pintar e fotografar). Gostava muito das novelas do escocês Walter Scott³ (1771-1832) que era muito apreciado na Alemanha.

A leitura dos textos de Mayer põe-nos em contacto com uma certa sensibilidade poética⁴. Com efeito ele utiliza, nos seus textos, muitas imagens e analogias, algumas das quais muito bonitas. (Por exemplo quando ele diz que "nous sommes tous des enfants du soleil". Tyndall (1862) tem necessidade de defender que Mayer utiliza esta imagem num sentido puramente mecânico e não num sentido poético. A este respeito nós diríamos que se o contexto desta utilização é científico o estilo é poético).

Tyndall (1862) conta-nos que, quando quis publicar os textos de Mayer em inglês, recorreu aos seus amigos alemães (que de acordo com Mott-Smith (1934) eram Clausius e Helmholtz) para obter os textos originais. Um destes amigos, Clausius, ter-lhe-á respondido que ele não

³ Uma outra coincidência que liga, embora indirectamente, Mayer e Turner: Turner era muito próximo de Scott e ilustrou alguns livros deste autor.

⁴ Os primeiros textos de Mayer (1841 e 1842) não tinham estas características porque Mayer, na época, acreditava que era necessário ser muito sucinto nos textos científicos, a verdade não precisava de muitas palavras para ser reconhecida.

encontraria nada de interessantes nos escritos de Mayer. No entanto, antes de enviar os textos a Tyndall, Clausius teve a curiosidade de os ler. Na sequência dessa leitura escreve a Tyndall:

"I must here retract the statement in my last letter, that you would not find much matter of importance in Mayer's writings: I am astonished at the multitude of beautiful and correct thoughts which they contain" (Clausius citado por Tyndall, p.65. O sublinhado é da nossa responsabilidade).

O seu estilo não o ajudou a conquistar um certo reconhecimento entre os cientistas da época, se bem que não se possam reduzir os problemas de reconhecimento relativamente aos trabalhos de Mayer a questões de estilo (seja ele literário ou científico).

Sobre o valor pedagógico do seu estilo de escrita utilizemos as palavras escritas por Josef Popper a propósito da publicação da segunda edição de "A Mecânica do Calor":

"in Mayer's work, however, the reader conquers the new viewpoints: he enjoys the pleasure of advancing... from the known to the unknown; of deducing, by a special way of re-thinking, the great thoughts from the store of his own knowledge... All this is achieved by Mayer solely through the writing, of his essays in the style of great monologues, seemingly in the same way in which he himself had found his ideas before he disclosed his immortal discoveries" (Josef Popper citado por Blüch, p.216).

Caneva (1993) tenta caracterizar a personalidade de Mayer através dos escritos dos amigos mais próximos. Nesses escritos encontram-se referências explícitas ao seu gosto pela poesia e ao seu gosto pela utilização de aforismos. De acordo com Rümelin:

"his conversation was always delightful; he had an inexhaustible supply of quotations and maxims from Bible and hymnal, from sayings, poets and ancient authors, and he knew how to employ them where no one else would have thought of them.

(...) The most prominent of his intellectual gifts were always the sense for mechanical causality and the unrelenting, penetrating examination of a thought out to its farthest ramifications" (Caneva, p.16).

Mayer tinha "an almost pathological mania for quoting poetry" (Mülberger citado por Caneva, p.16).

O fascínio pela ideia de viagem

Mayer termina o seu curso de medicina em 1838, em Tübingen, e toma a decisão de viajar. Lindsay afirma que esta decisão mostra bem a sua independência de espírito⁵:

"Mayer came to a decision reflecting an independence of judgement and spirit which one must admit did decidedly foreshadow his future independence of mind. Instead of settling down to a routine practice of medicine in his native city as his relatives expected he would do, he decided to travel and in particular to see a quite different part of the world" (p.5).

Caneva diz que Mayer tinha o desejo de viajar "to the East Indies, a region of the world that had fascinated him since childhood"⁶ (p.6). Assim, com esta ideia na cabeça procurou um meio para a realizar. O meio encontrado foi o de viajar num navio holandês, para as colónias holandesas, como médico. Para isso fez os exames necessários e foi admitido. Enquanto esperava pela partida do navio passou alguns meses em Paris, que foram muito formativos. Aí conheceu um estudante de mecânica, Carl Baur, que será mais tarde professor de matemática em Stuttgart e que o ajudará a clarificar algumas noções de física e de matemática.

É neste navio e junto à ilha de Java que começa, para Mayer, a aventura intelectual da construção de um conceito de 'força'. Se bem que possamos encontrar alguns indícios anteriores que levavam nesta direcção podemos, no entanto, considerar que é a partir da constatação de uma cor diferente do sangue venoso nos trópicos que Mayer começou um verdadeiro trabalho de construção conceptual com uma entrega total. Para termos uma ideia do que acontecia a Mayer basta dizer que ele praticamente não sai do barco durante a estada em Java. Ora Mayer tinha um grande fascínio por estas paragens. Tal facto só é compreensível se admitirmos que o que lhe estava a acontecer ao nível das ideias era ainda mais forte do que a curiosidade que o levou para aquelas terras. Lindsay escreve:

"it is sufficient to point out here that once Mayer had become excited with this biophysical puzzle he was obsessed by it and its scientific consequences for the rest of his professional career. He later said that he was so impressed with the possible importance

⁵ Esta é uma característica que também encontraremos em Joule (ver capítulo 5).

⁶ Este fascínio pelo conhecimento de outros mundos, pela aventura, poderá ter sido desenvolvido pelas suas leituras de Scott.

of the idea which came to him as a result of the simple blood-letting observation that he spent most of the time while his ship was in Java on board meditating on it and rarely went ashore for exploration. The ship sailed back to the Netherlands late in September 1840 and Mayer was back in Heilbronn in February 1841" (p.6).

Temos também as próprias palavras de Mayer a testemunharem a intensidade deste acontecimento numa carta de 16 de Maio de 1844 ao seu amigo Griesinger:

"... I then applied myself again to physics, and clung to the subject with such love that I - and many will laugh at me for this - was little concerned with that far part of the world, and preferred to be aboard where I could work uninterruptedly and where I often felt myself, as it were, inspired in a way which, to the best of my remembrance, I have never been either before or since... It is quite certain that the day will come when these truths will become the common property of science; but by whom this gift will be made and when it will happen, who can tell?" (Griesinger citado por Mach, p.231- Principles of Theory of Heat)

Mayer e a obsessão pelas ideias

"Mayer était passé par là de la *période créatrice* à la *période de façonnement*. Il avait nettement conscience que son idée s'étendait à la physique, à la chimie, et à la physiologie tout entières, mais renonçait à l'avance à l'appliquer à tout cet ensemble".

Ostwald em *Les grandes hommes*, 1912 p.69.

Regressado a Heilbronn, depois desta viagem especial, "he continued his studies with equal absorption, and could scarcely be brought to talk about anything else" (Mott-Smith, p.110). Para ilustrar esta absorção Mott-Smith transcreve uma pequena história contada por um dos amigos de Mayer (Rümelin):

"We were walking one day along the public road discussing these things, when the diligence with four steaming horses passed us. "What in your opinion", asked Mayer, "is the physical effect of the muscular force of those horses?" I replied that I could think

of nothing except that the weight of the horses, of the carriage and its contents, had suffered a displacement in space, which without such expenditure of force, would not have occurred. "But", said Mayer, "suppose them to pull up halfway and drive back to Heilbronn - what then is the physical effect?" I replied that two displacements in space would then have occurred, the first of which have been neutralized by the second. Mayer retorted that he could not call this a physical effect. It is quite indifferent, he urged, whether the passengers be landed at Heilbronn or at Oehringen - whether any final displacement occurs or not. The translation of the carriage is the motive and an incidental consequence of the labor of the horses, but not its physical effect. The heating of the horses, the increased oxidation of the food they have consumed, the frictional heat which the moving wheels have left in blue stripes along the road, the consumption of grease at the axles - these are not mere incidents, such as I had held them to be, but the motion of the horses and their mechanical work transform themselves into these heat effects, and indeed in accordance with a fixed quantitative relation, to find and to formulate which, he regarded as his most important task, although he had no longer any doubt about the correctness of the principle" (Mott-Smith, 1934, p.110-111).

Esta forma de investimento era idiossincrática em Mayer. Há uma outra história que reforça este traço da sua personalidade. Passa-se entre Mayer e Jolly. Mach diz que esta história lhe foi contada, oralmente, pelo próprio Jolly e que, mais tarde Jolly lha repetiu numa carta. Eis a história (ela passa-se antes da escrita do artigo de 1842, onde poderemos encontrar elementos saídos deste acontecimento) contada por Mach:

"Conversations with Nörrenberg and Jolly, which did not quite satisfy him [Mayer], showed him the way to the region of experiment. Jolly later admitted quite openly that it was very difficult for him, with the prejudices of his school, to arrive at any understanding of what Mayer said. At Jolly's objection: "Then water must become warmer on shaking", Mayer went away without a word. After many weeks a man burst into Jolly's study and simply said: "It is so!" It was Mayer, whom Jolly hardly recognized and who was under the impression that Jolly too had been dwelling on the same thought ever since the former interview" (p.230).

A história da surpresa de Mayer na constatação da diferença de cor do sangue venoso nos trópicos é-nos contada pelo próprio Mayer no seu artigo de 1845. Ela merecerá uma atenção especial da nossa parte pois traduz bem a fase do romance e o arrebatamento que lhe é característico.

Há historiadores da ciência que consideram esta história da cor do sangue uma anedota, não tendo qualquer efeito interessante. É, de acordo com Caneva, o caso de Breger:

"Breger was bothered that what he called the "Java anecdote" did not adequately explain Mayer's discovery of energy conservation, and suggested it continued to be repeated because of our embarrassment at not being able to explain him otherwise" (p.xviii).

Para nós ela revela-se como uma história muito interessante, como veremos.

Mayer e a aventura do pensamento

"Comme le dit Schiller, la formation du chef-d'oeuvre commence pour le poète, par une sorte de tendance musicale, par un avant-goût de l'impression que doit faire plus tard sur le spectateur l'ouvrage achevé; le sentiment scientifique laisse prévoir aussi le résultat ultérieur, longtemps avant que soit trouvé un chemin accessible qui y mène".

Ostwald em *Les grands hommes*, 1912, p.69.

Se a aventura que Mayer procurava nas grandes viagens termina com a sua instalação definitiva em Heilbronn, a sua aventura intelectual não está senão no início. Podemos imaginar um Mayer atraído por dois aspectos contraditórios da experiência humana: a tranquilidade (resultante do efeito dos modos de vida que o rodeavam) e a aventura (resultante da vivacidade do seu espírito, da sua independência intelectual e das suas leituras).

A aventura que começou com o episódio da cor do sangue prolongou-se por toda a sua vida. Com efeito, a vida científica de Mayer desenvolver-se-á em torno da clarificação do seu conceito de força e da aplicação do princípio de conservação da 'força' a toda a natureza. É à medida que vai desenvolvendo as suas aplicações que ele se vê constrangido a abandonar algumas das suas convicções, nomeadamente a "crença" na possibilidade de criação de 'movimento' na natureza orgânica. Há, no entanto, uma convicção fundamental que será o motor de todo o seu trabalho: a ideia de que há na natureza uma dimensão imaterial, tão real quanto a dimensão material.

Mayer faz-nos viajar da dimensão astronómica à dimensão terrestre, conduz-nos do inanimado ao vivo, proclama-nos *âmes de feu et enfants du soleil*. Podemos, assim, compreender como este princípio pôde ocupar toda uma vida.

Mayer e a falta de reconhecimento científico

Como já foi dito, Mayer teve muitos problemas, e viveu-os mal, de reconhecimento científico. A maior parte do seu trabalho foi publicada à sua custa.

Para ilustrar o sofrimento daí decorrente transcrevemos aqui uma carta que ele dirigiu a Josef Popper que era, utilizando as palavras de Blüh (1952), "a writer sociologist, and scientist" (p.211):

Dearest friend:

I can hardly express in words how pleased I was when I received last Saturday, quite unexpectedly, from Cotta the Nr 35 of Das Ausland with your admirable paper⁶. How far I earn such extraordinary praise, - that point naturally I am not allowed to judge; but so much is certain, that this review in such a highly regarded publicational organ is of greatest importance (*Epoche machend*) for the whole story of my life and suffering, and that I shall always owe you a debt of deepest gratitude. Thus you are playing a very outstanding role in my biography. Hardly anybody penetrated so deeply into the spirit of my work and familiarised himself with its contents. It is particularly kind of you to take my part against Tait and Thomson. These men are my most persevering opponents. Previously in the "good words", they have taken pains to eliminate me entirely in favor of my dear coöperater joule, but have been reproved in the Phil. Mag. by my later friend Tyndall, whom I met subsequently at a Swiss science meeting. I gather from your article that these gentlemen in vain continue in their tendency to slight me, in spite of better knowledge. The proposition about the retardation of the rotation of the earth through the tides, as I have shown, is of great importance also, because it proves the accuracy of Cordier's theory of earthquakes; - a circumstance which, as far as I know, has not found further consideration. Well, it cannot remain so for ever.

By your fine article, which nobody could have written better, I consider the action forced upon me by my adversaries to be terminated in my favor. I can't deny that my opponents applied against me every possible means, among them the most effective one as you will

⁶ Mayer refere-se ao artigo de Popper a propósito da publicação da Segunda edição do seu texto "La Mécanique de la Chaleur". A correspondência entre estes dois homens começou depois da publicação de um artigo de Popper sobre a "fonte" do trabalho efectuado na ascensão dos balões.

know, that I have been declared insane, and, of course, incurably insane. All the greater is my pleasure in the final and complete victory of my cause, undertaken and continued in good faith, and I shall forever retain in my most grateful heart the names Liebig and Verdet, Tyndall and Popper.

You know well, dear friend, that I usually write short letters, and so you receive herewith a relatively long epistle.

Fare you well, and retain for me your good will!

Your grateful friend,

J. R. Mayer" (Blüh, 1952, pp.212, 213).

Relativamente a Mayer Popper escreveu:

"[he] has made a scientific discovery which embraces the whole world, and this in a far more general sense than was the case in Newton's discovery. Newton found the most general phenomenon, gravitation, and its law; Mayer however found a law which governs all natural phenomena, gravitation included, and hypothetically also those which are as yet unknown.

More precisely, it is the world of science against the purely spatial world of the celestial bodies which we have in mind" (Popper citado por Blüh, p.214).

No que diz respeito ao encerramento da questão em torno da falta de reconhecimento refere-se o Encontro da Sociedade dos Cientistas Alemães em 1867, em Innsbruck, onde os seus trabalhos foram publicamente reconhecidos. Foi nesse mesmo ano que ele foi premiado (ver Blüh, p.213).

Mayer visto pelos outros

Contrariamente a Helmholtz, Mayer nunca foi um académico. Manteve sempre a sua actividade de médico mas o que o arrebatava verdadeiramente era a invenção intelectual. Era considerado um amador, no sentido negativo da palavra. Hoje ainda é encarado, pelos cientistas, com alguma desconfiança: não é mais do que um intuitivo. Há, no entanto, outros que o admiram e que fazem o seu elogio. Assim, encontramos uma grande variedade de qualificativos relativamente ao trabalho científico de Mayer: *prophète de l'énergie* (Lindsay), *lucky amateur* (caracterização de Blüh da forma como muitos vêem Mayer), *le Galilée du*

dixneuvième siècle (Düring, 1880), *a pioneer of energy conservation* (Tyndall), *prescientific* (Joule), *un des chercheurs les plus illustres* (Mach).

Lindsay escreve:

"On net balance it appears that the professionals conceded to Mayer the public praise he deserved for his one great achievement, but would not bring themselves to think of him as a natural scientist in the exact sense. To them he was rather a "speculative" thinker" (Lindsay, p.16).

Mach afirma:

"If we take a survey of the achievements of Mayer, we must conclude that hardly any other natural scientist ever took a more important and comprehensive view" (Mach, p.235).

Engels escreve:

"Dès 1842, Mayer affirme 'l'indestructibilité de la force' et 'sur les rapports existant entre les divers processus naturels', de son nouveau point de vue, il sait dire en 1845 des choses beaucoup plus géniales qu'Helmholtz en 1847" (Engels, p.84).

Posto isto poderemos facilmente imaginar a diversidade de abordagens ao pensamento de Mayer.

Estes elementos podem ajudar-nos a discutir a ideia, partilhada por muitos professores, de que a história da ciência, sempre ancorada nos factos, é neutra quanto aos interesses dos autores que a constroem.

Elementos sucintos sobre os enquadramentos filosófico e psicológico de Mayer

Para podermos apreciar a originalidade e a beleza do pensamento de Mayer precisamos de conhecer a cultura (científica, filosófica, psicológica) de que ele é herdeiro. Tentaremos fazê-lo sempre que surja a oportunidade. Desde já, aqui deixamos alguns elementos que dão conta da existência de diferentes interpretações.

De acordo com Caneva, a literatura médica recorria bastante aos aforismos. Ele cita uma carta de Mayer onde este escreve:

“*Cessante causa cessat effectus* is a well-known medical principle” (p.17).

É este aforismo que ele vai utilizar para introduzir o seu conceito de força. Esta questão sempre suscitou em nós uma certa curiosidade. Com efeito perguntávamo-nos onde é que Mayer teria ido buscar esta ideia? Seria o resultado de uma certa cultura filosófica? Que cultura? Há autores que nos propõem um Mayer kantiano (Gillispie), há outros que nos propõem um Mayer imerso na *Naturphilosophie* (Kuhn). Caneva propõe como cultura filosófica a subjacente aos escritos médicos, questionando a ideia que sobrevaloriza a influência da *Naturphilosophie* no desenvolvimento das ideias de Mayer. Outros há que vêem Mayer como um herdeiro de Leibniz. É o caso de Hiebert (1981) que escreve:

"nature maintains unbroken chains of cause and effect. The argument based on the causal connection between "passing away" and "coming to be" is a very old one, and it was explicitly employed as a basis for accepting conservation of energy. This is as true for the Leibnizian statement as it is for Robert Mayer's more general statement 150 years later" (p.103).

O pensamento de Mayer revela-se muito rico do ponto de vista pedagógico porque utiliza muito o pensamento qualitativo e utiliza, bem ao jeito do século XIX, muitas analogias (herança dos românticos). Este gosto pela utilização das analogias está presente em muitos dos cientistas do século XIX. Por exemplo Boltzmann (1893) afirma que Maxwell considera que a cognição "is on the whole nothing else than the discovery of analogies" (p.44) e que para este cientista "science now only spoke in parables" (p.44).

Como escreve Caneva:

"Mayer's roughly reconstructible process of discovery exhibited a complex internal structure over a period of several years, a process guided more than anything else by his penchant for analogies" (p.xv).

Caneva, como muitos outros historiadores da ciência, queixam-se da inexistência de um caminho claro que leve da constatação da cor diferente do sangue venoso, nos trópicos, à ideia de conservação da energia. Caneva cita Kremer que propõe que:

"Mayer was stimulated by 'sailors chatter about storms warning sea water' and by his familiarity with chemistry, in particular the principle of conservation of matter" (p.xvi).

Assim, parece que o pensamento analógico pode ser um elemento chave para o desenvolvimento do seu pensamento. A este aspecto há que juntar a procura do movimento perpétuo, que está bem explícita no seu percurso intelectual.

Seguidamente faremos uma leitura (científica, filosófica e emotiva) dos textos de Mayer (dando especial atenção aos textos de 1842, 1845, 1851) tentando colocar em evidência as abordagens qualitativas; as analogias e os exemplos utilizados; as suas ideias sobre o método científico; as suas ideias sobre o valor dos princípios e dos fenómenos; a identidade real da energia; o gosto pelas ideias e o gosto por expressões bonitas. E sobretudo valorizar a paixão de Mayer no desenvolvimento das suas novas ideias. Lugar ao "profeta da energia"!

4.3 O texto de 1841: "Über die quantitative und qualitative Bestimmung der Kräfte" ("On the Quantitative and Qualitative Determination of Forces")

Alguns meses depois do seu regresso das índias, Mayer envia a Poggendorf o seu primeiro artigo para publicação nos *Annalen der Physik und Chemie*. Este artigo não será publicado nesta ocasião e nem sequer foi devolvido a Mayer. Será publicado muito mais tarde, depois da morte de Poggendorf e depois do reconhecimento da importância dos trabalhos de Mayer.

O texto que utilizámos foi uma tradução em língua inglesa publicado por Lindsay⁷. O nosso interesse na leitura deste texto reside na procura de elementos que nos permitam apreciar a evolução do pensamento de Mayer. Será que podemos encontrar elementos constantes no desenvolvimento deste pensamento? Quais? Como emergem as significações? Será que a leitura dos textos nos permite perceber que "Mayer's thinking was shaped at every turn by images and usages he encountered all around him"? (Caneva, 1993, p.126).

A importância deste artigo

Embora este texto não tenha tido um papel na história do conceito de energia e embora seja de difícil leitura parece-nos importante dar-lhe algum protagonismo. Permite-nos constatar que já lá está uma ideia de indestrutibilidade, coexistindo com a possibilidade de criação de movimento, e permite-nos apreciar a argumentação de um Mayer que não dispõe ainda de ferramentas conceptuais apropriadas. Como já dissemos, o texto é de difícil leitura pois utiliza uma linguagem à primeira vista complicada, nomeadamente recorre ao cálculo vectorial para o tratamento de grandezas escalares, como veremos. Ele próprio cria uma notação especial. É o facto de ele definir o "movimento" (no sentido da energia) como o momentum (resultado da ignorância em física) que o inspira na sua estratégia de utilização da regra do paralelogramo para o favorecimento da sua crença inicial na possibilidade de criação de "movimento". Este texto testemunha:

"an inadequate grasp of physical principles and introduces a bizarre terminology which would naturally repel the physicists and chemists of Mayer's time. Nevertheless, it represents an earnest attempt to handle the problem of interconversion of natural

phenomena which was uppermost in Mayer's mind. It contains flashes of insight which were translated into effective results in later work" (Lindsay, p.59).

Referimos anteriormente que Mayer procurava, sem sucesso, na sua juventude, a criação de "força" nos mecanismos a que tinha acesso, acabando, mais tarde, por aceitar a impossibilidade de criação de "força" no mundo inanimado. Resta-lhe, no entanto, o mundo orgânico onde ele continua a crer na possibilidade de criação de "força":

"he nevertheless did not hesitate to entertain the possibility that all 'organisms' might contain within themselves the ability to create (though not to destroy) the force" (Caneva, p.126).

No artigo que estamos a tratar esta crença é explicitada, o que nos permite evidenciar alguns passos importantes na construção de uma ideia de conservação e mostrar que a ideia de indestrutibilidade está ainda longe de uma ideia de conservação.

Há ainda outras razões que tornam este artigo importante no quadro dos nossos interesses.

Com efeito, encontramos aí os primeiros argumentos para a indestrutibilidade das "forças" que denunciam a ideia de ciência de Mayer. Tal facto permitir-nos-á apreciar a evolução desta ideia e consequentemente a evolução dos argumentos. Qual é o nível de generalidade da sua ideia inicial de "força"? Será interessante ver como Mayer vai fazer da regra do paralelogramo uma metáfora ao serviço das suas ideias. Será interessante testemunhar como o pensamento analógico ocupa um lugar chave desde o início.

A medida das "forças"

Neste primeiro artigo a atenção de Mayer recai, essencialmente, sobre as "forças" que ele designa de "movimento" e "calor", centrando, no entanto, a sua atenção sobre o "movimento"⁸. Começa por introduzir a sua noção de *neutralização*⁹ de movimentos.

⁷ Lindsay, R. B., 1973, *Julius Robert Mayer - Prophet of Energy*, Pergamon Press.

⁸ No artigo seguinte centra a sua atenção no "movimento", na "força de queda" e no "calor".

⁹ É importante chamar a atenção sobre a utilização que Mayer faz da palavra "neutralização". O pensamento analógico tem sempre, em Mayer, um lugar importante na produção de novo conhecimento. Mas este caso é muito mais do que isso. Ele aplica a terminologia da química para dar conta de um fenómeno que está para além do domínio da química. Como muitos autores referem não se trata aqui de uma simples questão de terminologia: poder-se-á dizer que a palavra tem um papel conceptual importante (e aí estamos a relevar o poder do pensamento analógico). Ver Caneva (p.35) no que diz respeito à concepção estequiométrica do balanço das forças. Caneva cita uma carta de Mayer a Tyndall de 1863 onde refere a teoria da conservação da força como uma teoria de "estequiometria física".

Considera, então, o caso dos movimentos antagónicos em que a neutralização dos movimentos pode variar entre zero (choques elásticos) e o desaparecimento total de movimento. Para determinar a “força” resultante da combinação dos movimentos iniciais Mayer precisa de duas grandezas: a quantidade e a qualidade do movimento resultante. A quantidade é dada pela soma dos produtos das massas dos corpos pelas suas velocidades. A qualidade é dada pela direcção da “força” e pela elasticidade do choque. Mayer introduz uma notação que para o caso dos movimentos antagónicos (mesma direcção e sentidos opostos, mesma massa e velocidade) consiste em juntar um zero à esquerda da quantidade referente ao movimento. Este zero integra a possibilidade de coexistência de movimentos positivos e negativos ou ausência de movimento. Exemplifiquemos: se temos dois corpos de massa A e velocidade c, em oposição, o movimento resultante, se o choque for elástico, será designado por 2Ac. Como escreve Mayer (p.62):

“It is evident this is in no way actually equal to zero, and that the force quantity 2Ac loses nothing of its magnitude from its qualitative sign prefixed to it”.

Se a elasticidade diminuir:

“we see less motion developing and with complete absence of elasticity motion wholly ceases. A part or all of the moving force will under such circumstances completely disappear from observation. This part consisting of plus and minus we say has been neutralized. From the assumption of the invariability of quantity of force it follows that the neutralized motion is equal to the original motion minus the part that is left over” (p.63).

Dispõe, portanto, de uma medida do movimento neutralizado para o caso dos movimentos antagónicos, desde o perfeitamente elástico ao inelástico. Mas como avaliar a neutralização de movimento nos casos em que as direcções dos movimentos iniciais não são as mesmas? Para abordar esses casos Mayer vai utilizar a regra do paralelogramo.

Se aceitarmos as teses de Caneva e de Heimann podemos, contudo, ir muito mais longe. Com efeito eles defendem que não se deve encarar a analogia entre Química e Física, tão cara a Mayer, como uma simples

A metáfora da Regra do Paralelogramo

Como vimos, Mayer toma o *momentum* como medida da sua força, o que o inspira na utilização da regra do paralelogramo para a composição dos movimentos. Fará, no entanto, uma utilização muito especial da referida regra, fazendo dela um instrumento muito útil para os seus propósitos: por um lado, permite-lhe evidenciar a neutralização (neutralização não quer dizer destruição) de movimentos no nosso mundo fenomenológico (inorgânico); por outro lado, permite-lhe encarar a possibilidade de criação de “força” no mundo longínquo das estrelas. Com a regra do paralelogramo Mayer poderá, muito facilmente, mostrar que no nosso mundo há sempre neutralização de movimento. Com efeito, ele utiliza esta regra para determinar o movimento resultante, considerando, no entanto, a sua grandeza “força” uma grandeza escalar. Assim, a quantidade do movimento resultante será sempre inferior à soma dos movimentos iniciais. Como ele afirma:

“we call attention briefly to the fact that in the usual application of the parallelogram (of forces or motions) principle in dynamics we always get results leading to a neutralized motion either too small or too large” (p.65).

E continua, afirmando:

“Since forces can evade observation in our physical apparatus, but can never be produced out of nothing, those cases are appropriate for experimentation in which a neutralized motion is neglected or discarded. But those cases are inappropriate in which the production of such a motion is assumed to take place out of nothing” (p.65).

O que ele quer dizer é que no nosso mundo fenomenológico apenas podemos passar das componentes para a resultante, constatando a neutralização de movimento, mas não poderemos passar da resultante para as componentes, pois teríamos produção de “força”. Tal passagem só será legítima para o mundo das estrelas. Na verdade, no fim do artigo, Mayer propõe esta ideia escrevendo:

“In the system of the stars, the problem, unsolvable by us, of providing a continuous source of force, that is, the change from 0 to +MC-MC, is solved by Nature. The fruit of this is the most magnificent of the material world: the eternal source of light” (p.66).

heurística mas sim como o sustentáculo dos fundamentos para a sua noção de força: uma concepção da natureza alicerçada na coexistência independente da matéria e da força.

Portanto, ao nível das estrelas há criação de “força”. Ou seja, o mundo longínquo das estrelas não segue as mesmas leis do nosso mundo fenomenológico. Vimos como a regra do paralelogramo ajuda Mayer a fazer esta diferença. A possibilidade de criação de “força” habita ainda o pensamento de Mayer. Estamos ainda longe de uma ideia de conservação. O que é interessante em Mayer é que as suas concepções se vão ajustando aos resultados de um trabalho que vai progredindo. A ideia básica que está presente desde o início é a ideia de indestrutibilidade da “força”. Veremos seguidamente como ele introduz esta ideia; como é que ele interpreta a neutralização de movimentos à luz desta ideia; e qual é o núcleo forte da sua ideia de “força”.

A indestrutibilidade da “força”

Este artigo começa por introduzir a “força” como a causa das mudanças observadas no nosso mundo fenomenológico. Esta necessidade de procura de causas para as mudanças observadas é-nos apresentada como tendo uma raiz nas leis do pensamento lógico:

“All phenomena rest on the fact that matter, bodies and their relations to each other are subject to changes. From the laws of logical reasoning we assume that this cannot happen without a cause. This cause we call a force” (Mayer, p.60).

Quase poderíamos dizer que neste texto a “força” não tem ainda um estatuto de realidade: ela emerge como condição de inteligibilidade dos fenómenos físicos. Daí que Mayer seja, por vezes, encarado como kantiano (no artigo seguinte Mayer fará apelo ao princípio da razão suficiente, tão caro a Leibniz). Assim, os acontecimentos que observamos no nosso mundo físico têm causas uma vez que de nada não podemos obter alguma coisa. No entanto, este ditado tem para Mayer uma validade local, como vimos. Será que, nesta fase Mayer estaria mais preocupado com a questão da criação da “força” do que com a questão da indestrutibilidade? Como aparece a ideia de indestrutibilidade?

Se não tivéssemos lido este artigo teríamos a impressão de que o núcleo forte do pensamento de Mayer residiu sempre na indestrutibilidade das “forças”. Ora a leitura deste artigo dá-nos outra pista. Com efeito, a procura do movimento perpétuo parece ser o motor inicial do pensamento de Mayer.

Mas à medida que a sua noção de força se vai substancializando a ideia de indestrutibilidade vai-se tornando o aspecto central do pensamento de Mayer. Vejamos, então, como ele introduz esta ideia:

"We can derive all phenomena from a primeval force which has as its effect the annulment of all existing differences and unites all existing things in a homogeneous mass at a single mathematical point. If two bodies exhibit a given difference and the difference has been annuled, the bodies can remain in a state of rest if the forces which were communicated to them for the purpose of removing the difference were to cease to exist. If these forces, however, are assumed to be indestructible and to continue in operation, still treated as causes of the change of state, they would then re-establish the originally existing difference" (p.60).

Deste modo Mayer postula a indestrutibilidade das "forças" como a condição necessária de existência do nosso mundo material¹⁰. E Mayer termina esta linha de pensamento escrevendo:

"Therefore, the fundamental principle that forces once given are, like matter itself, quantitatively invariable, assures us conceptually of the continuance of existing differences and thereby the continued existence of the material world" (p.60).

Esta frase contém um conjunto de elementos muito importante para a compreensão do desenvolvimento do pensamento deste autor. Na verdade, ela deixa-nos uma porta aberta para a possibilidade de criação de "força"; ela explicita um raciocínio por analogia (com a indestrutibilidade da matéria), que será uma constante do seu pensamento; e estabelece a indestrutibilidade das "forças" como princípio fundamental, de validade universal (contrariamente à impossibilidade de criação de "força" que apenas tem validade local), que nos assegura uma permanente "existência" do mundo material. Encontramos aqui alguns aspectos similares à significação da ideia de energia (ver cap.3).

A indestrutibilidade das "forças" representa, assim, o lado conceptual que nos assegura sobre a continuação da existência de acontecimentos no nosso mundo. Se as "forças" se destruíssem o mundo material deixaria de "existir", no sentido de acontecer. Neste raciocínio parece estar a passagem de uma concepção das "forças" como condição de inteligibilidade do mundo para uma concepção das "forças" como entidades reais.

¹⁰ Poderemos ver aqui a mesma passagem de um mundo de essências para o mundo de existências, tal como Delon vê a ideia de energia nos finais do século dezoito.

Se este artigo indicia a importância da procura do movimento perpétuo no desenvolvimento do pensamento de Mayer ele fixar-se-á, no entanto, na aplicação da ideia de indestrutibilidade a uma caso fenomenológico: choques elásticos e não elásticos. Para os primeiros a indestrutibilidade é visível. Quanto aos choques não elásticos, e depois de ter explorado alguns casos de neutralização de movimentos, Mayer escreve:

“We are now permitted to draw from the foregoing some conclusions about natural science. The neutralized motion 02MC, in so far as the motion does not take place in opposite directions, is the expression for heat. Motion, heat, and as we intend to show later, electricity are phenomena which can be attributed to a single force and can be transformed into each other in accordance with definite laws. Motion is transformed into heat by virtue of being neutralized by an opposite motion or by a fixed point. The heat produced is proportional to the motion that disappears. Heat, on the other hand, is transformed into motion by means of expanding bodies” (p.65).

Nesta fase Mayer não poderia senão fazer abordagens qualitativas, no que diz respeito aos choques não elásticos, uma vez que ainda não dispunha de um valor para o equivalente mecânico do calor, que ele apresentará no artigo seguinte (1842). Mayer precipitou-se na pressa de publicação, talvez por sentir que estas novas ideias eram revolucionárias na nossa visão do mundo.

Imagens e ideias à volta de Mayer

A escrita deste artigo é sensível ao “ar dos tempos”, à cultura de Mayer. Já referimos como Mayer, tal como acontece com Joule, era estimulado pelo visível. Os fenómenos físicos proliferam na época, as máquinas da revolução industrial são de grande porte e transformam a paisagem. É, portanto, natural que o mundo fenomenológico, traduzindo a “existência” do mundo material, seja um polo de interesse privilegiado. Encontramos nos escritos de Mayer chamadas importantes de atenção para o que é visível. Neste artigo, ele utiliza expressões como: “we see less motion developing” (p.63).

A cultura de Mayer foi determinante na terminologia e nas imagens utilizadas. É o caso da utilização das ideias de neutralização de movimentos e de indestrutibilidade da matéria, resultantes de uma certa cultura em química.

Quanto à noção de “força” ela aparece nos manuais de ciências, da época, de forma bastante confusa. A utilização da regra do paralelogramo corresponde à tentativa de utilização de um instrumento familiar no estudo dos movimentos.

Por outro lado Mayer pertence a uma comunidade ligada ao estudo dos organismos. Nesta proliferam as metáforas tais como: o sistema solar é um organismo; o organismo é um mecanismo.

Quanto à ideia de ciência patente na estratégia de Mayer poderemos dizer que ele a encara como o estudo das causas, como o estabelecimento de princípios gerais eficazes na compreensão de casos particulares, explorados até às últimas consequências. A quantificação é já, para Mayer, o aspecto fundamental na construção do conhecimento científico. No entanto, nesta fase ele não possui os elementos necessários para isso.

As palavras chave deste artigo são: força, indestrutibilidade, transformação, neutralização, existência, ver, causa.

Algumas considerações finais

Como já dissemos este texto é de difícil leitura e não será, portanto, um texto a trabalhar com os professores. No entanto, há um conjunto de ideias úteis em contextos de formação.

Talvez o aspecto mais interessante seja a discussão sobre o caminho a percorrer entre uma ideia de indestrutibilidade e uma ideia de conservação e colocar o mesmo problema hoje. Se para Mayer a ideia de indestrutibilidade era ponto assente desde o princípio (necessidade lógico-fenomenológica), contrariamente à impossibilidade de criação de “força”, hoje a maior dificuldade residirá em fazer aceitar a indestrutibilidade (claro que a ideia de conservação não se reduz à consideração destes aspectos – aliás a consideração destes aspectos leva à construção de uma ideia substancial de energia - ela implica a capacidade de medir e de ser capaz de reduzir os fenómenos a uma medida). Daí que, por vezes, se insista apenas na ideia de indestrutibilidade sem se explorar a outra dimensão, acabando por não ser aplicada¹¹.

Um outro aspecto a relevar é a consciência que Mayer tinha do valor da sua ideia. Com efeito, ainda que tenha utilizado instrumentos conceptuais inadequados e inaceitáveis para os físicos ele tinha a intuição que estava perante uma ideia transformadora da nossa visão do mundo físico.

Vemos, neste texto, como a ideia de indestrutibilidade das “forças” adquiriu um sentido¹² muito forte para ele. Mais tarde compreenderemos como este sentido poderá ter emergido (como o sinal da diferença de cor do sangue nos trópicos associado ao texto de Lavoisier sobre a respiração – que Mayer tinha lido – se traduziu num novo sentido para Mayer). O longo caminho entre a emergência do sentimento de que estamos perante uma ideia nova e a construção da sua significação científica é algo que merece ser apreciado. Neste aspecto Mayer é um caso exemplar.

Apreciar as estratégias de exposição da sua ideia fundamental será sempre objecto do nosso interesse. É interessante constatar que Mayer só recorre explicitamente à sua experiência pessoal no seu artigo de 1845. Queria ele evitar a origem fisiológica da sua ideia, como alguns autores afirmam, ou apenas evitar falar de algo que teria uma certa carga metafísica?

¹¹ Exemplo que testemunha esta ideia: as transformações energéticas associadas à queda de água. Se colocarmos, no percurso da água, uma turbina, o alcance da queda de água será menor. No entanto, como este aspecto não é explorado, por vezes, os professores esperam que seja o mesmo.

¹² Para Lalande “le sens du mot, ou de la phrase, est donc un contenu psychique très complexe, une attitude et un mouvement de la pensée comprenant des images individuelles et concrètes, des tendances, auxquelles s'ajoute chez celui qui parle une volition, et chez celui qui écoute le <<sentiment de comprendre>> c'est à dire de pouvoir évoquer d'autres images ou d'autres signes reliés à celui-là par des relations définies, de savoir ce qu'il faut faire, etc. On dit qu'une expression, une formule sont <<pleines de sens>> s'ils sont capables d'évoquer cette sorte d'activité mentale”.

4.4 O texto de 1842

“Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur”

(“The Forces of Inorganic Nature”¹³)

Introdução

Este texto foi o primeiro artigo publicado de Mayer. Ele é publicado nos *Annalen der Chemie und Pharmacie*, 1842, sob a supervisão de Liebig. Em 1862 será publicado no *Philosophical Magazine* na sequência de um conjunto de diligências de Tyndall, o divulgador do pensamento de Mayer na Grã-Bretanha.

Antes de penetrarmos no texto debruçemo-nos um pouco sobre o título. Este pode sugerir uma diferenciação entre as “forças” do mundo inorgânico e as “forças” da natureza orgânica¹⁴. Depois de termos lido o seu texto anterior perguntamo-nos se Mayer está ainda no mesmo estágio de crença na possibilidade de criação de “força” na natureza orgânica. Neste texto não há qualquer referência que possa indiciar tal facto. Caneva defende que Mayer continuou a acreditar que as forças podem ser criadas nos organismos até à Segunda metade do ano 1842 (p. 126). Ora este artigo foi escrito no princípio de 1842.

Há, no entanto, outras razões para este título. Embora ele queira unificar toda a natureza - para isso pretende fazer-nos aceder a um mundo assente nas ligações - ele terá de começar pelo estudo de fenómenos particulares e bem conhecidos para poder, com eles, construir uma nova visão do mundo. Ele não queria correr o risco de que o seu conceito de força, sendo algo de demasiado geral, conduzisse a uma ideia de “something unknown, unsearchable and hypothetical (Mayer, p. 72). Pelo contrário o seu conceito de força deveria corresponder a uma entidade real e ser reconhecido pelos cientistas. Nesse sentido começa por explorar alguns “objects of actual investigation”: a “força de queda”, o “movimento” e o “calor”.

Mas então porque é que Mayer começa com a natureza inorgânica se ele está é mergulhado no domínio da fisiologia?

¹³ O texto que seguimos foi publicado, em inglês, por Brush (1948) numa colectânea de textos (vol. 1) sob o título “Kinetic Theory”. Este texto é uma reimpressão do texto publicado em 1862 no *Philosophical Magazine*.

¹⁴ Joule publicará, em 1847, um artigo equivalente sob o título “On matter, living force and heat”. Embora sejam tratadas as mesmas “forças” nos dois artigos podemos perceber já uma diferença fundamental entre Mayer e Joule. Mayer quer colocar em evidência a natureza.

Em primeiro lugar devido à sua aceitação de uma certa hierarquia dos saberes, ou como escreve Caneva, devido à sua aceitação do “conventional ranking of sciences whereby physiology is beholden to the more fundamental physics for the certification of its most general concepts” (p.234). De acordo com Heimann:

“[Mayer] believed that it was essential to provide a general physical rather than physiological framework for his concept of the indestructibility and transformability of forces” (p.280).

Mayer pretende, deste modo, jogar no campo da ciência fundamental o que lhe trouxe muitos problemas. No seu artigo de 1845 “the motions of organisms and their relation to the metabolism” esta estratégia é explicitada. Com efeito, tendo por objecto os movimentos dos organismos ele começa por dar um lugar importante aos fenómenos do mundo inorgânico.

A acrescentar a isto:

“Mayer believed that his concept of force was an antidote to materialism because it vindicated the existence of something nonmaterial in the world” (Caneva, p.xxi).

Se ele conseguir fazer aceitar a existência de uma entidade não material na natureza inorgânica então está a criar as condições de pertinência para a problemática que verdadeiramente o interessa: as relações entre corpo, força e alma.

Na verdade, as suas reflexões sobre o conceito de “força” nascem num contexto metafísico-medicinal, como defende Caneva. Este contexto metafísico corresponde à crença fundamental de que na natureza ao lado de uma dimensão material existe uma dimensão não material com um estatuto equivalente. De acordo com este autor, as reflexões de Mayer desenrolam-se guiadas por esta visão dual da natureza.

As questões formuladas

Este artigo constrói-se à volta das respostas a duas questões formuladas no início do texto: “What are we to understand by ‘Forces’? and how are different forces related to each other?” (p.71). A reforçar estes interesses conceptual e operacional temos o texto de Heimann:

“Mayer’s claim [with the article of 1842], as he informed his friend the physician Wilhelm Griesinger later that year was to have represented ‘the connection of many

phenomena much more clearly than has been seen hitherto' and to have given 'a clear and good idea of what force is'. The kernel of Mayer's thought is his concept of force and his theory of the relations between forces" (p.277).

Este interesse conceptual pela 'força' será um aspecto muito importante do trabalho de Mayer e aí reside uma diferença substancial relativamente a Joule.

Mas porque é que um médico se interessa por este tipo de noção? Abordámos já o lado metafísico desta questão mas é necessário abordar o contexto científico. Com efeito, o domínio da fisiologia debatia na época a existência da força vital e, por outro lado, a metáfora dos organismos como mecanismos transportava para este domínio a palavra 'força'. Esta palavra era muito utilizada na literatura científica da época com significações variadas (exemplo: apesar do novo termo proposto por Young para designar a força viva os manuais científicos continuavam a utilizar a palavra 'força') e por vezes pouco claras, como era o caso com a 'força vital'. A palavra 'força' seria, certamente, muito significativa para Mayer dada a sua espiritualidade e religiosidade, dada a sua rejeição pelo materialismo.

Se com isto poderemos perceber o interesse de Mayer pela 'força' porquê tomar esta noção no sentido da indestrutibilidade e não no sentido newtoniano? Esta é uma questão que Mayer mais tarde tratará. Obviamente que ela implica uma cultura científica que, possivelmente, Mayer ainda não possuía em 1842. Para além dos argumentos que Mayer forjará para defender a utilização desta palavra no sentido da energia (veremos este aspecto mais tarde) o que Mayer pretende desde o início é, de acordo com Heimann e Caneva, dar uma dimensão real à noção de 'força' e para isso a indestrutibilidade é o instrumento fundamental.

O desenvolvimento da noção de 'força' e a sua identificação

Para responder à primeira questão formulada Mayer vai fazer apelo a argumentos filosóficos; à analogia com a noção de matéria e à sua concepção dual da natureza; e à fenomenologia do nosso mundo.

Neste artigo começa por postular que "forças são causas" (p.72). Contrariamente ao que tinha feito no seu artigo de 1841, aqui Mayer não faz quaisquer considerações que possam justificar esta afirmação. De onde vem esta ideia? Vimos que no artigo de 1841 ele tenta mostrar que esta afirmação deriva, por um lado, de uma necessidade lógica para a interpretação do mundo fenomenológico, e, por outro lado, é uma condição da 'existência' do mundo físico. O que ele pretende postular com o enunciado "forças são causas" é a indestrutibilidade das 'forças', já

que *causa aequat effectum* – o que encerra a ideia de indestrutibilidade das causas e, portanto, das ‘forças’. Parece-nos poder identificar uma passagem de interpretação das ‘forças’ como origem (causa) dos acontecimentos fenomenológicos (1841) para uma interpretação das forças sob o signo da equivalência (1842). Caneva afirma que Mayer aprendeu a identificar as forças com as causas porque nos manuais de física era frequente a afirmação de que as forças são as causas dos movimentos (p.234). Considerando a plausibilidade desta afirmação parece-nos, no entanto, que a sua interpretação de causa variou. Neste artigo de 1842 é claro que o seu objectivo é estabelecer equivalências entre ‘forças’, ele não procura a determinação dos acontecimentos.

Ainda a propósito da indestrutibilidade Mayer dirá mais tarde (1851):

“the proposition that a magnitude, which does not spring from nothing, cannot be annihilated, is so simple and clear that no valid argument can be urged against its truth, any more than against an axiom of geometry; and until the contrary is proved by some fact established beyond a doubt, we may accept it as true”¹⁵ (p.501).

Aqui já a indestrutibilidade parece ser uma boa hipótese colocada à prova dos factos. Esta frase também testemunha a aceitação inequívoca da impossibilidade do movimento perpétuo. Neste artigo, por síntese entre a sua argumentação filosófica e as observações fenomenológicas Mayer chega ao seguinte enunciado:

“causes are (quantitatively) indestructible and (qualitatively) convertible objects” (p.72).

A pergunta que ocorrerá logicamente será: quais são as causas que existem na natureza e como as poderemos diferenciar? Mayer defende que há duas espécies de causas na natureza: a matéria e as “forças”; e que “so far as experience goes, [these two classes of causes] never pass one into another” (p.72), ou seja, nem a matéria se transforma em ‘força’ nem vice-versa (no entanto, mais tarde, Mayer defenderá que a “produção” de “força” no sol está associada a uma perda de massa).

O passo seguinte será operacionalizar uma técnica para distinguir entre “força” e matéria. Neste sentido, ele chega ao enunciado: “forces are therefore indestructible, convertible, imponderable objects” (p.72). No entanto, este enunciado não é suficiente para um discernimento fenomenológico das “forças”. Para isso Mayer acrescenta: “[one] cause which brings about the raising of a weight is a force” (p.73). Passamos, assim, a dipor de um meio de identificação das “forças” (ainda não há a ideia de que há “forças” que mais dificilmente se transformarão em “força de queda”). Com efeito, vemos aparecer aqui, pela primeira vez, por

¹⁵ Utilizámos o artigo publicado no *Philosophical Magazine* de 1863.

um lado uma possibilidade de validação fenomenológica – sobre a questão de saber se uma causa é uma força – e, por outro lado, há já um embrião para a medida das “forças”. É interessante constatar a semelhança com o procedimento de Lavoisier no texto sobre a respiração. Há toda uma montagem muito visual.

Quanto à designação destes objectos indestrutíveis, convertíveis e imponderáveis por “forças” é uma questão que será abordada por Mayer mais tarde no seu artigo de 1851, como já referimos. Tendo Mayer uma preocupação conceptual não poderá deixar de se colocar a questão do nome. No tratamento desta questão, Mayer contrastará as significações newtoniana e leibniziana do termo “força”, definindo-se como um leibniziano. Ele argumentará que o termo “força” será mais adequado para o seu conceito do que para o conceito de Newton, já que:

“it accords with the laws of thought, as well as with the common usage of language, to connect every production of motion with an *expenditure* of force. Hence ‘force’ is – *something which is expended in producing motion*; and this something which is expended is to be looked upon as a cause equivalent to the effect, namely to the motion produced” (p.507).

Interessante esta preocupação em ligar o uso das palavras na ciência com o uso das mesmas no mundo da vida.

Neste texto, Mayer dá-nos as propriedades das “forças” (indestrutibilidade, convertibilidade e imponderabilidade) e um meio de identificação fenomenológica das forças, sem quaisquer referências à essência desta entidade. Para ele, esta entidade tem uma existência anterior à ideia de conservação:

“it must constantly be borne in mind that if Mayer was to discover the conservation of energy (...) he first had to ‘discover’ an entity about whose conservation he could ask pointed questions” (Caneva, p.126).

Temos, a este respeito, a interpretação de Ostwald (1937):

“Ce qui, dans l'œuvre de Mayer, est le plus important au point de vue de l'étude que nous faisons ici, c'est qu'il conçoit les forces, c'est-à-dire, dans notre langage, l'énergie, comme une substance. La force est pour lui une réalité, un être d'une espèce déterminée et particulière; son indestructibilité et son incréatibilité sont des marques de sa réalité. Pour mettre cette réalité en relief le plus qu'il le peut, *il supprime l'énergie de la matière*;

d'après lui, il y a d'un côté, les objets indestructibles et impondérables, qui sont les énergies. Les objets appartenant à la seconde catégorie sont aussi réels que ceux qui appartiennent à la première, et ne s'en distinguent qu'en ce qu'ils n'agissent pas sur la balance" (p.73).

Esta ideia será retomada e desenvolvida por Heimann (1976).

Três “forças” em evidência

Mayer começa por identificar duas “forças” cuja ligação está já estabelecida em mecânica: a “força de queda”, ou “separação no espaço de objectos ponderáveis” (hoje, energia potencial gravítica) e o “movimento” (hoje, energia cinética):

“it is the problem of Mechanics to develop the equations which subsist between falling force and motion, motion and falling force, and between different motions” (Mayer, p.74).

Uma vez que estas equações já estão estabelecidas, qual é a novidade que Mayer vem acrescentar? Ele vai mostrar que leis como a conservação da *vis viva* não são mais do que casos particulares de uma lei geral de indestrutibilidade das causas. Ele vai buscar grandezas que estão já definidas mas dá-lhes qualquer coisa de novo: liga-as através do nome, chamando-lhes “forças”. Ao fazer isso está a produzir um programa de trabalho: procura e desenvolvimento de ligações menos evidentes.

Caneva escreve:

“Nor was there ever talk in Mayer’s writings of any grand unity of the forces of nature, although that is what his work clearly implied. At the center of Mayer’s thinking, then was not a broad notion of the interconnections among various forces but a conception of the equivalence of heat and motion” (p.27).

Com efeito, este artigo concentra-se em três “forças” particulares mas o que está na cabeça de Mayer é a unificação da natureza, através da ligação das diferentes formas com que a “força” aparece. A testemunhar isto temos uma carta escrita por ele a Griesinger em 1842 (citada por Lindsay, 1973):

“it is my assertion that motion, heat, light, electricity and the various chemical reactions are all the same object under differently appearing forms” (p.7).

A este respeito temos a interpretação de Lindsay:

“[Mayer] was driven by a consuming desire to erect his view of the relation between heat and work into an all embracing scientific theory” (p.7).

Ou seja, embora Mayer tenha centrado a sua atenção na equivalência entre “movimento” e “calor” o que o movia verdadeiramente era uma visão unificada da natureza centrada nas ligações entre as diferentes “forças”. A reforçar este aspecto Heimann (1976) escreve:

“Mayer’s claim, as he informed his friend the physician Wilhelm Griesinger later that year, was to have represented ‘the connection of many phenomena much more clearly than has been seen hitherto’” (p.277).

Qual é, então, o efeito de chamar “força” a uma grandeza física já definida? Se chamarmos, por exemplo, “força” à grandeza que Mayer designa por “movimento” o que é que isso nos traz de novo? Vemos que o “movimento” desaparece sem que se ganhe “força de queda”. Aceitando a indestrutibilidade da “força” será necessário procurar outras formas da “força” e para isso há que explorar situações fenomenologicamente significativas:

“In numberless cases we see motion cease without having caused another motion or the lifting of a weight; but a force once in existence cannot be annihilated, it can only change its form: and the question therefore arises. What other forms is force, which we have become acquainted with as falling force and motion, capable of assuming? Experience alone can lead us to a conclusion on this point. (...) If, for example, we rub together two metal plates, we see motion disappear, and heat, on the other hand, make its appearance, and we have now only to ask whether *motion* is the cause of heat. In order to come to a decision on this point, we must discuss the question whether, in the numberless cases in which the expenditure of motion is accompanied by the appearance of heat, the motion has not some other effect than the production of heat, and the heat some other cause than the motion.

Without the recognition of a causal connexion between motion and heat, it is just as difficult to explain the production of heat as it is to give any account of the motion than disappears” (p.75).

Para provar esta conexão entre “movimento” e “calor” Mayer deve mostrar que não houve outro tipo de fenómenos responsáveis pela produção de “calor” como sejam alterações no estado de agregação das substâncias e diminuições de volume dos corpos envolvidos no movimento. Este último aspecto é explorado qualitativamente, por absurdo, através do seguinte raciocínio:

“Water undergoes, as was found by the author, a rise of temperature when violently shaken. The water so heated (from 12° to 13°) has a greater bulk after being shaken than it had been before; whence now comes this quantity of heat, which by repeated shaking may be called into existence in the same apparatus as often as we please?” (p.75).

Este exemplo da fricção da água aparece como resposta à questão que Jolly lhe tinha colocado. Steffens (1979) defende, recorrendo às notas de Joule, que Joule se inspirou neste exemplo de Mayer para conceber a sua experiência de 1846 (a fricção da água).

Continuando a seguir o raciocínio de Mayer concluiremos:

“If it be now considered as established that in many cases (*exceptio confirmat regulam*) no other effect of motion can be traced except heat, and that no other cause than motion can be found for the heat that is produced, we prefer the assumption of a cause without effect and of an effect without a cause” (Mayer, p.75-76).

Tendo, deste modo, estabelecido uma relação de causa, no sentido de equivalência, entre “movimento” e “calor”, como o tinha já feito entre “força de queda” e “movimento” poderá, então, defender uma equivalência entre estas três “forças”. Mayer começa por dar visibilidade à conexão entre estas três “forças” utilizando uma analogia muito curiosa, qualificativo de Caneva:

“The natural connexion existing between falling force, motion, and heat may be conceived of as follows. We know that heat makes its appearance when the separate particles of a body approach nearer to each other: condensation produces heat. And what applies to the smallest particles of matter, and the smallest intervals between them, must also apply to large masses and to measurable distances. The falling of a weight is a real diminution of the bulk of the earth, and must therefore without doubt be related to the quantity of heat thereby developed; this quantity of heat must be proportional to the greatness of the weight and its distance from the ground” (p.76).

A utilização desta analogia valeu-lhe críticas ferozes de Tait e Kelvin. Contrariamente, Engels faz, na *Dialéctica da Natureza*, uma utilização positiva desta analogia.

Para nós, o que é que tem de interessante esta analogia? Essencialmente a surpresa (aspecto valioso na mobilização intelectual). Com efeito, estamos excessivamente habituados a explicar os fenómenos não mecânicos com as “imagens” privilegiadas da mecânica. Aqui estamos perante o contrário, ou seja, o que serve de núcleo explicativo é o modelo de produção de “calor” por contracção (nos fluidos). Mayer aplica este modelo à queda de um corpo junto à superfície da Terra. Este acto, que será incompreensível para os mecanicistas radicais (estes dificilmente lho perdoarão), reflecte a independência do pensamento de Mayer. Este sente necessidade de tal analogia porque o efeito tão visível da variação de volume terá de estar associado a uma das três “forças” já identificadas. O que é interessante salientar é que ele olha para este fenómeno à luz dos fenómenos de produção de “calor” nas máquinas térmicas e não faz ao contrário, olhar para as máquinas térmicas tendo por núcleo explicativo a queda de um corpo à superfície da Terra. Tal comportamento parece-nos compreensível dado o interesse de Mayer pelas novas máquinas que, na época, começavam a chegar à região: as máquinas a vapor.

O lugar privilegiado que Mayer dá ao “calor” na sua visão do mundo é um comportamento natural na comunidade em que se insere: ele era médico e a investigação na área da fisiologia, na época, interessava-se muito pelo problema da origem do “calor” animal. Assim, quase poderíamos afirmar que o sistema de conhecimento desenvolvido por Mayer é uma cosmologia do calor. Não será por acaso que o título da obra onde estão reunidos os seus artigos mais importantes é “A mecânica do Calor”.

A importância da quantificação

Estabelecidas que estão as conexões entre as três “forças” nomeadas, Mayer pergunta-se:

“how great is the quantity of heat which corresponds to a given quantity of motion or falling force?” (p.77).

Neste artigo, contrariamente ao anterior, Mayer consegue dar resposta a tão importante questão.

No que diz respeito às três forças nomeadas, Mayer dispunha de um meio de conectar a “força de queda” e o “movimento”: a lei de conservação da *vis viva*. Ainda que utilize esta lei com algumas imprecisões (ele utiliza, por exemplo, como quantificação do “movimento” a quantidade mv^2 e não a quantidade $1/2mv^2$).

Contudo, para relacionar a quantidade de “calor” com a “força de queda” ou com o “movimento” ele não dispunha de nenhum mecanismo formal. Por outro lado, não dispunha de um laboratório onde pudessem ser desenvolvidas experiências que lhe permitissem chegar à equivalência numérica pretendida. É aí que a sua genialidade se revela: ele vai procurar nos dados que existem disponíveis na época os elementos de que precisa para estabelecer uma tal equivalência. Serão os resultados recentes, e ainda pouco conhecidos, das experiências de Gay-Lussac sobre a expansão dos gases que lhe fornecerão os instrumentos necessários. Esta utilização não será compreendida pelos ingleses, o que é natural uma vez que Mayer não a explicitou neste artigo. Tal facto levará a que a quantificação estabelecida por Mayer não seja levada a sério pelos britânicos, o que continuará a acontecer mesmo depois de Mayer no seu artigo de 1845 explicar o método seguido (nessa altura jogam-se diferentes concepções de construção do conhecimento científico). Abordaremos o método quando explorarmos o artigo de 1845.

Mayer estabelece, então, que:

“the warming of a given weight of water from 0° to 1° corresponds to the fall of an equal weight from the height of about 365 metres” (p.77).

Ainda que não seja claro o método de chegada a este valor o que é interessante reter é que Mayer termina este artigo com este cálculo numérico. Como ele dirá mais tarde em ciência é sempre necessário chegar a um número mas o mais importante joga-se nos mecanismos de conhecimento de um fenómeno, sem isso o número será desprovido de significado. Com efeito, neste artigo, a parte numérica corresponde a uma pequena parte do texto, ocupando o “conhecimento” dos fenómenos a maior parte do texto.

A natureza do “calor”. Exemplos de conexão entre as três “forças”.

Quando Mayer trabalha a causalidade entre “calor” e “movimento” afirma:

“the vibratory hypothesis of heat is an approach towards the doctrine of heat being the effect of motion, but it does not favour the admission of this causal relation in its full generality; it rather lays the chief stress on uneasy oscillations” (p.75).

Para Mayer o mais importante é a relação de causalidade fenomenológica e não a causalidade microscópica. Ou seja, as questões associadas à natureza do calor não o preocupam, nem lhe interessam. Ele chega mesmo a afirmar:

“but just as little as the connexion between falling force and motion authorizes the conclusion that the essence of falling force is motion, can such a conclusion be adopted in the case of heat. We are, on the contrary, rather inclined to infer that, before it can become heat, motion - whether simple, or vibratory as in the case of light and radiant heat, etc. - must cease to exist as motion” (p.76).

Com efeito, dentro do quadro conceptual e filosófico de Mayer a problemática sobre a natureza do “calor” não é necessária, contrariamente ao contexto de desenvolvimento das ideias de Joule que implicava, necessariamente, a interrogação sobre a natureza do “calor”.

O “ar dos tempos” está contido nos exemplos que Mayer dá das conexões causais entre as três “forças” trabalhadas:

“In water-mills, the continual diminution in bulk which the earth undergoes, owing to the fall of the water, gives rise to motion, which afterwards disappears again, calling forth unceasingly a great quantity of heat; and inversely, the steam-engine serves to decompose heat again into motion or the raising of weights. A locomotive engine with its train may be compared to a distilling apparatus; the heat applied under the boiler passes off as motion, and this is deposited again as heat at the axles of the wheels” (p.76).

Diferença entre “força de queda” e “gravidade”

Quando Mayer fala da “força de queda” sente a necessidade de fazer a diferença entre “força de queda” e força da gravidade, ou em termos mais actuais entre energia potencial gravítica e força gravítica. Ele está atento à possível confusão entre as duas grandezas uma vez que a gravidade é encarada como a causa da queda dos corpos. A questão está em que a palavra causa é utilizada num sentido diferente daquele que é utilizado por Mayer:

“if gravity be called a force, a cause is supposed which produces effects without itself diminishing, and incorrect conceptions of the causal connexion of things are thereby fostered” (p.74).

Esta necessidade permanente de clarificação conceptual faz de Mayer um autor valioso pedagogicamente. A confusão referida por Mayer está sempre presente no pensamento geral dos alunos derivada da confusão sensorial associada às noções físicas de força e de energia.

Algumas considerações finais

Este artigo é excessivamente sucinto o que o torna pouco atraente para uma utilização formativa. É preciso estilhá-lo e contextualizá-lo para que se possa começar a apreciar nas suas várias dimensões. Esta economia de expressão fazia parte da estratégia inicial de Mayer que acreditava que a exposição da verdade não carecia de grandes considerações e que seria imediatamente reconhecida. É neste sentido que ele escreve, já no fim do seu artigo de 1841:

“the author has presented the foregoing principles, forming in part his view of nature, in the briefest possible form. Truth needs few words for its recognition, and to try to praise error as truth is a vain struggle” (p.66, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta postura alterar-se-á, como veremos nos textos seguintes.

Contudo, há aspectos do texto preciosos do ponto de vista pedagógico. Como vimos, Mayer tem uma grande preocupação conceptual e tem a ousadia de formular questões simples, que emergem logicamente e que nos confrontam com uma certa perda, nos contextos pedagógicos, do exercício de formulação das questões essenciais. Na verdade, Mayer ao falar da “força” como uma entidade real da natureza que toma formas variadas, terá, necessariamente de se perguntar como poderá, então, identificar uma “força”. Porque é que uma questão pertinente como esta raramente ocorre em contextos pedagógicos? Talvez porque o desenvolvimento dos saberes didácticos se orienta mais por mecanismos prescritivos do que pela problematização dos conteúdos.

A resposta de Mayer a esta questão é que estamos perante uma “força” se por efeito dela obtivermos a elevação de um peso. Aqui está o núcleo inicial da definição da energia como capacidade de realizar trabalho. Se esta última é problemática do ponto de vista científico e do ponto de vista pedagógico (há autores que defendem que a noção de trabalho é muito difícil, com é o caso de Warren) o contexto em que a resposta de Mayer emerge é perfeitamente legítima pois ainda se está sob o signo exclusivo da equivalência entre as diferentes formas de

energia. Por outro lado Mayer não introduz a palavra trabalho e dá-nos simplesmente uma operacionalização fenomenológica, que terá todo o interesse em contextos pedagógicos.

Mayer coloca sempre em evidência o valor fenomenológico das suas noções. Talvez por isso tenha sido designado por Ostwald como o primeiro energetista.

Um outro aspecto importante deste texto é a importância das analogias no desenvolvimento do pensamento de Mayer. É a analogia com a matéria que lhe dá o “mote” para a ideia de indestrutibilidade das “forças”. Mas, perguntamos nós, de onde lhe vem a ideia de conservação da matéria? Como refere Caneva, os manuais científicos da época não tinham ainda consagrado a ideia de conservação da matéria para que ela pudesse ser um guia. Podemos, no entanto, imaginar que Mayer tenha lido os textos de Lavoisier, já que é certo que ele leu o texto sobre a respiração. Mas nos textos de Lavoisier não encontramos um princípio de conservação da matéria com o estatuto esperado. Há sim uma noção de conservação da matéria com um estatuto muito mais modesto (ver *Lavoisier*, de B. Bensaude-Vincent, 1993). Podemos, então, supor que esta ideia o tocou de forma especial quando leu os textos de Lavoisier, mesmo não ocupando um lugar de evidência nos textos referidos. Ou seja, outro não teria sido tão sensível à importância da ideia. Caneva defende que a ideia de conservação da matéria em Mayer é o resultado das suas leituras teológicas e não o resultado das suas leituras científicas. Se assim o fosse não nos parece que ele comesse um artigo científico com o apelo a essa ideia. Ele estará convicto da sua validade científica para lhe dar um lugar privilegiado neste seu artigo, ainda que a importância que Mayer lhe atribua tenha uma raiz metafísica importante. cremos, portanto, que esta ideia resulta do conjunto das suas leituras, científicas e teológicas. Mas, poder-se-á dizer que sem a sua metafísica a leitura que ele fez dos textos de Lavoisier teria sido completamente diferente.

Em síntese, nestes dois artigos contactamos com uma noção de “força” que se estabelece numa encruzilhada de funções:

- “força” como condição de existência do mundo fenomenológico
- “força” como condição de inteligibilidade do mundo fenomenológico (estas duas condições traduzem, de certa forma, a crença numa correspondência entre as leis da natureza e as leis da razão)
- “força” como entidade (real) unificadora da natureza
- “força” como eixo de uma concepção não materialista da natureza.

Qual a noção de ciência implícita nestes dois artigos? Já falámos do aspecto do reconhecimento da verdade. Mas que verdade é esta? Vemos como em Mayer o estabelecimento dos grandes princípios que frutificarão no estabelecimento de leis mais próximas da fenomenologia e dos dados experimentais traduz a sua visão do desenvolvimento do conhecimento científico. Todos estes aspectos estão presentes no texto que estamos a trabalhar e, deste modo, ele só pode ser portador de “verdade”.

Palavras chave

causa, força, indestrutibilidade, convertibilidade, conexões, equivalência, princípio, fenómeno.

4.5 O texto de 1845

“Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel, Ein Beitrag zur Naturkunde”.

(“Motion in organisms and its connection with metabolism. A contribution to natural science”)

Introdução

A publicação deste extenso artigo também não foi fácil, acabando por ser editado às custas de Mayer pela Drescher Bookstore. Começou por ser submetido à revista editada por Liebig, *Annalen*, mas foi recusado: “Liebig’s assistant gave as reason the fact that the journal was at the time overstocked with chemical papers (Lindsay, 1973, p.8). Este artigo é considerado um dos mais importantes dos escritos de Mayer. Utilizámos como texto o artigo, incompleto, reproduzido por Lindsay em “Energy: Historical Development of the Concept”, 1975, pp.285-307. Relativamente à segunda parte do artigo, não incluída nesta reprodução, que trata das aplicações fisiológicas da conservação da “força”, utilizámos o texto publicado por Lindsay em “Men of Physics: Julius Robert Mayer, Prophet of Energy”, 1973, pp.76-145¹.

Se o objectivo de Mayer é trazer para o terreno da fisiologia as leis da física, ele não dispensa, contudo, de fazer o desenvolvimento do grande princípio na natureza inorgânica. Ele continua a querer chamar a atenção dos “físicos”:

“It is hoped that physicists for whom the calculus is a tool in their investigations and not an end in itself will not deny an earnest examination to this part [refere-se à primeira parte deste artigo] of the author’s work” (p.285).

Apesar deste seu desejo os seus trabalhos permanecerão praticamente ignorados pelos físicos até que Tyndall se interesse por eles e promova a sua divulgação (1862).

Neste artigo há uma clara mudança de estratégia já que a “verdade” deve ser defendida, provada. Não chega enunciá-la, é preciso que outros a aceitem.

Trabalharemos essencialmente sobre a primeira parte do texto com algumas incursões à segunda parte.

À procura do método científico interessante

Na introdução deste artigo Mayer começa por afirmar:

“In the course of the last century applied mathematics has attained such a high stage of development and its conclusions have acquired such a high degree of certainty that it has been justified in assuming the first rank among the sciences. It is the beginning and the end for the astronomer, the technologist and the navigator, it is the solid axis of all the natural philosophy of the present time. It is only in biology that the discoveries of Galileo, Newton and Mariotte have borne comparatively little fruit. No formulas have been found for the phenomena of life, for the letter killeth, the spirit alone giveth life!” (p.284).

Ou seja, Mayer precisa do rigor, do grau de certeza, que as matemáticas proporcionam para que o seu conceito de “força” atinja o estatuto de “first rank”. Daí a procura de um método de construção de conhecimento inspirado na filosofia natural e não na biologia. E, a este respeito, continua:

“In the study of motions produced organically the gulf between mathematical physics and physiology (...) is vividly perceptible. Therefore the attempt to set up a method by which both sciences can be brought closer together with reference to the matter in question should not be without interest to physiologists” (p.284).

Embora demarcando-se daqueles que constroem o universo *a priori* (isso seria, como escreve Mayer, uma recaída nos “mistakes of ancient natural philosophy”) Mayer defende que:

“when, however, there has been success in tying together countless natural phenomena and from them to deduce a fundamental law of nature one should not be reproached if after careful tests one uses this law as a compass to guide his path with greater assurance over the sea of details” (p.284).

Contactamos, nesta frase, com a elegância que Mayer punha na sua escrita. É bonita a forma como ele tenta mostrar o valor das leis fundamentais da natureza (ele está a pensar na indestrutibilidade das “forças”).

¹ Seguimos este percurso porque não tivemos acesso desde o início à Segunda obra referida. Só bastante mais

Em seguida, Mayer faz algumas considerações sobre a Mecânica, em torno do seu valor e dos seus limites. A este respeito escreve:

“Mechanics, so to speak, anatomizes or dissects the natural objects with which it deals by abstractions pushed as far as possible until they correspond to numbers in its mathematical analyses, and is content to be able to answer the questions which it raises with admirable sharpness and mathematical accuracy. Mechanics is troubled but little if through its way of looking at things phenomena which are closely associated in nature appear on the boundary of mechanical domain to be widely separate. Mechanics is concerned just as little about the apparent coincidence, in its domain, of concepts and objects which in the real world have nothing in common” (p.285).

Aqui emerge o afastamento entre o mundo fenomenológico e a Mecânica. Não será, portanto, na Mecânica que ele pretenderá inserir-se. Parece-nos poder ler nas entrelinhas que Mayer pretende fazer a diferença entre a Mecânica e a Física). Embora reconheça o valor dos conceitos da mecânica ele pretende criar espaço para uma imaginação conceptual não regido pela Mecânica: a Física. Ele está a pensar no seu conceito de “força” para o qual recusa uma interpretação mecanicista. E conclui:

“The only mission of physics is to become acquainted with force in its various forms and to investigate the conditions governing its changes” (p.286).

Será, portanto, desta forma que ele orientará o desenvolvimento do seu artigo, como veremos.

Encontrado o caminho que lhe interessa Mayer propõe-se:

1. Tornar inteligível o seu conceito de força e representar os fenómenos importantes da natureza com base nas conexões entre eles.
2. Interpretar os fenómenos fisiológicos a partir da conservação da “força”.

Relativamente ao primeiro objectivo Mayer confessa as dificuldades:

“the author has taken considerable trouble to set forth the relevant mechanical and physical problems in a generally intelligible way. Should nevertheless individual points arise for the understanding of which a more exact acquaintance with the theorems of

mechanics is required, in the nature of the case these could not very well be avoided” (p.285).

A estratégia de desenvolvimento da primeira parte do texto

Parece-nos estar latente no pensamento de Mayer uma certa harmonização entre as leis do pensamento e a experiência, como já referimos. Essa harmonização materializa-se no estabelecimento do princípio de conservação da “força”. Com efeito, Mayer começa os seus artigos com considerações que nos parecem aspectos *a priori*, mas que resultam da experiência nas suas facetas física e psicológica, desenvolvendo depois os aspectos empíricos. Assim, começa por introduzir o seu conceito de força e por postular a sua indestrutibilidade. Segue-se o menu das formas da “força” conhecidas na época, identificando-as como tal pela sua capacidade de transformação: o movimento, a força de queda, o calor, a electricidade e o magnetismo, a combinação e a separação químicas.

O “movimento” e a “força de queda” são trabalhados com exemplos disponíveis na natureza, dada a sua visibilidade. Para o “calor” procura exemplos na paisagem técnica. Para as outras recorre a experiências de laboratório.

Depois do percurso pelas transformações da “força”, com a quantificação das equivalências entre as diferentes formas (à excepção dos aspectos eléctricos e magnéticos, que Mayer aborda apenas qualitativamente) Mayer dá uma nova forma à lei da indestrutibilidade e convertibilidade das “forças”:

“If we now combine the results of all these investigations into a single general law, we once more obtain the axiom originally set up. This is:

In all physical and chemical processes the energy² involved remains constant” (p.305).

Mayer termina esta parte propondo 25 experiências para mostrar as “metamorfoses” das cinco formas identificadas da “força”.

Podemos, deste modo, entender a forma subjacente à escrita deste artigo que poderemos sintetizar assim:

² A palavra energia é da responsabilidade de Lindsay. Com efeito, este autor substituiu a palavra força, utilizada por Mayer, pela palavra energia.

Mayer começa com um princípio *a priori*. Mergulha, em seguida, no mundo fenomenológico, natural e artificial, para validar o seu princípio e para chegar a um enunciado mais preciso. Traça, desta forma, um círculo entre o mundo do pensamento e o mundo da experiência. Finalmente, Mayer faz entrar este círculo no laboratório e propõe 25 exemplos experimentais para colocar em evidência as metamorfoses das cinco formas da “força”. Esta passagem ao laboratório não traduz a necessidade de medida, como poderíamos pensar, ela traduz, essencialmente, a necessidade de tornar as diferentes metamorfoses da “força” muito visíveis. Este aspecto merece um destaque especial, pelo valor pedagógico que encerra.

O conceito de “força”

Neste artigo, Mayer introduz o seu conceito de força recorrendo primeiro ao aspecto fenomenológico: “we call force an entity which brings about motion” (p.286). Começa, assim, por colocar a tónica no aspecto da transformabilidade, juntando-lhe, em seguida, o núcleo forte da sua noção de força: a indestrutibilidade. Com efeito, escreve:

“Force as a cause of motion is an indestructible entity. No effect arises without a cause. No cause disappears without a corresponding effect” (p.286).

No essencial a sua noção de força mantém-se, relativamente à noção desenvolvida no texto de 1842. No entanto, a sua estratégia é substancialmente diferente, o que dá conta de alguma mudança no que diz respeito à forma como Mayer vê o desenvolvimento do conhecimento científico. Com efeito, o percurso empírico ocupa um lugar de relevo no desenvolvimento inicial do conceito, contrariamente ao que acontecia no texto anterior onde ele começava por estabelecer a sua noção de força por considerações puramente formais (“forces are causes: accordingly, we may in relation to them make full application of the principle – *causa aequat effectum*” (p.72)) que relevam de uma metafísica pessoal.

O equivalente mecânico do calor

Vimos que Mayer termina o seu artigo de 1842 afirmando que o aquecimento de uma certa quantidade de água de 0° a 1° corresponde (é o efeito) à queda da mesma quantidade de água de uma altura de 365 metros. Como chega ele a este resultado? A resposta é-nos dada apenas neste artigo. Para isso, faz apelo às experiências de Gay-Lussac sobre a expansão de fluidos elásticos no vazio:

"Gay-Lussac has proved by experiment that an elastic fluid (gas) which streams out of a vessel into an equally large evacuated container suffers in the former vessel just as much cooling as the latter vessel warms up. This investigation of outstanding simplicity, which has been confirmed by other observers, shows that a given weight and volume of an elastique fluid can expand two-fold, four-fold or to a volume of any size without experiencing *on the whole* any temperature change. This means that for the expansion of the gas in and for itself no heat expenditure is necessary. At the same time experiment confirms that when a gas expands against pressure it suffers a drop in temperature" (p.290).

Este raciocínio permite-lhe, pois, considerar que a perda de "calor" é equivalente ao efeito mecânico produzido, na expansão de um gás (esta conclusão só é válida para os gases perfeitos).

Este resultado será, então, integrado no raciocínio de Mayer do seguinte modo:

"Let us assume that 1 cubic inch of air at 0°C and a pressure of 27 inches of mercury [standard conditions] is heated by a quantity of heat x at constant volume to 274°C . When this gas is allowed to expand into an evacuated space of the same volume it will still retain the temperature 274°C and a medium surrounding the vessels containing the gas will during the expansion experience no change in temperature. Now, however, consider the other case in which 1 cubic inch of air is heated from 0°C to 274°C not at constant volume but at constant pressure (namely 27 inches of mercury). In this case a larger quantity of heat is required. Represent this as $x+y$.

"In both cases above the air is heated from 0°C to 274° and in both cases the air expanded from one volume to twice the volume.

"In the first case the quantity of heat required was x . In the second it was $x+y$. In the first case the mechanical effect produced was zero, but in the second it was the equivalent of raising 15 pounds 1 inch.

"If the air is cooled under the same circumstances under which it was heated, an amount of heat is given back equal to that which was taken up. The given amount of air if it is cooled from 274°C to 0°C without the simultaneous expenditure of mechanical work (or with pressure absent) will accordingly give back the quantity of heat $=x$. However, in cooling under constant pressure with the expenditure of potential energy equivalent to that needed to raise 15 pounds 1 inch, the air will give back the quantity of heat $x+y$.

"The steam in the engine when it expands behaves like the air at constant pressure. The quantity of heat needed for the heating and expansion of the steam is $x+y$. In the cooling process the steam experiences no particular pressure and hence the cooling takes place

without (or with very small) expenditure of mechanical work. It gives back the heat quantity x . Hence there is associated with every cycle of the piston in the cylinder of the engine a heat loss equal to y . Thus the operation of the engine is inseparately connected with a consumption of heat.

"The quantity of heat which must be expended to produce a definite amount of mechanical work must be evaluated experimentally" (pp. 290, 291).

Decidimos transcrever todo este texto porque integra, de forma muito clara, as etapas importantes do raciocínio de Mayer. Ele permite-nos apreciar a utilização que Mayer faz dos resultados de Gay-Lussac.

Contrariamente, ao que aconteceu com o texto de 1842, no texto que estamos a explorar Mayer não queimou etapas. É curioso ver como ele começa por abordar casos com uma elevação da temperatura correspondente a 274°C , quando para os cálculos o que vai tomar é o aquecimento correspondente a 1°C . Porquê 274°C ? Certamente porque, em condições "standard", esta elevação de temperatura está associada a uma variação de volume do ar muito visível, no caso estudado há uma duplicação; porque será mais significativa, nas máquinas a vapor a elevação de temperatura é grande. Considerando que "the steam in the engine when it expands behaves like the air at constant pressure" (p.291), Mayer poderá traduzir directamente o seu exemplo em termos de máquina térmica. Resta-lhe encontrar o bom método que lhe permita determinar a quantidade de calor necessária para produzir uma certa quantidade de trabalho. As considerações que se seguem, no seu texto, tentam resolver esta questão:

"The total expenditure of heat can be calculated from the quantity of combustible material burned in the engine. When the inevitable losses of heat through radiation, conduction and convection are deducted from the above, there remains the heat really available for transformation and this corresponds to the actual performance of the engine. Since, however, by far the greater part of the unused and dissipated heat can be only approximately estimated, even a partially reliable result is hardly to be expected along these lines.

The problem can be solved more simply and precisely by calculation of the quantity of heat which becomes latent if a gas expands under pressure. If the heat taken up by the gas in heating it by $t^{\circ}\text{C}$ at constant volume is x , the heat needed to heat the gas through the same temperature range at constant pressure will be $x+y$. If in the latter case the weight raised is P , then $y=Ph$.

One cubic centimeter of atmospheric air at 0°C and 0.76metres barometric pressure weighs (has a mass of) 0.0013 gram. If it is heated through 1°C the air expands by $1/274$

meter of its volume and at the same time raises a column of mercury of 1 square centimeter crossection and 76centimeters high by $1/274$ meter. The weight of this column is 1033 grams. The specific heat of air (that of water taken as unity), from the work of Delaroche and Berard, is 0.267. The quantity of heat which a cubic centimeter of air takes up in order to go from 0°C to 1°C at constant pressure is accordingly equal to the heat by which $(0.0013)(0.267) = 0.000347$ gram of water would have its temperature raised by 1°C . According to Dulong, whom most physicists follow, the quantity of heat which air takes up to the heat itself by 1°C at constant volume to that for constant pressure is in the ratio 1:1.421. If we use this we calculate the heat needed to heat 1 cubic centimeter of air by 1°C at constant volume as $0.000347/1.421$. [Aqui, Lindsay fala de um erro de impressão no texto de Mayer: transcreveu 1.41 em vez de 1.421, mas o resultado é concordante com o valor de 1.421. Lindsay cometeu também um erro porque transcreveu 0.00037 e não 0.000347].

The difference $(x+y)-x=y$ is therefore $0.000347-0.000244=0.000103$ units of heat. By the expenditure of this, 1033 grams of mercury is lifted $1/274$ centimeters. Hence 1 unit of heat is equivalent to 1 gram raised 367 meters" (pp. 291 et 292)".

Mesmo se Mayer não utiliza o termo caloria a noção está lá e ele chama-lhe unidade de calor. Neste texto, contrariamente ao anterior, Mayer utiliza o peso em vez da massa no cálculo do trabalho, na elevação do corpo. Ele corrige, assim, algumas imperfeições na utilização dos conceitos físicos.

Para os seus cálculos ele faz apelo ao valor do calor específico do ar, a pressão constante, e ao valor da razão entre os calores específicos a volume constante e a pressão constante, respectivamente. Com estes valores ele pôde desenvolver a quantificação que procurava. A precisão do seu resultado dependerá da precisão com que foram calculadas estas grandezas.

A genialidade de Mayer está no caminho que ele conseguiu traçar. Convém lembrar que os resultados de Gay-Lussac não eram, de todo, adquiridos para a comunidade científica. Os ataques de Joule a Mayer resultam, em parte, de uma certa ignorância dos resultados das experiências de Gay-Lussac.

Um aspecto interessante nos textos de Mayer é a sua necessidade de significação para as noções que utiliza. Na transcrição que acabámos de fazer, Mayer fala do calor que se torna latente. Tal afirmação exige clarificação, o que ele fará acrescentando uma nota, sobre a noção de calor latente:

"The concepts of heat becoming latent and free are equivalent to those of expenditure and production respectively. We can say that motion becomes *latent* when an object moves up from the earth and the motion slows down. It becomes free when the motion is

downward. Heat may be thought of as latent motion, just as motion may be thought of as latent heat” (p.291).

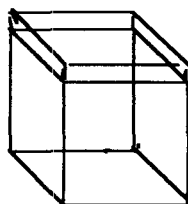
Uma vez mais podemos apreciar como Mayer trata simetricamente o “movimento” e o “calor”. Não há um lugar privilegiado para o “movimento”. Ou seja, ele recusa a imagem totalitária da visão mecanicista do mundo fisico.

O caminho e a clareza conceptuais de Mayer são enfatizados por Mach:

“all attempts to represent Mayer's claims as unfounded must fall to the ground in view of the conceptual clearness to which he finally attained when he gave the magnitude of the mechanical equivalent of heat and distinctly stated, in a few words, the way in which it is calculated. He was the first of all physicists to see that no new experiments are necessary for this determination, and that generally known numbers suffice for it. He was the first to grasp correctly Gay-Lussac's over flow experiment, and to make it the foundation of calculation” (Principles of Theory of Heat, p.232).

Mach dá-nos, nesta obra, as etapas do cálculo de Mayer com a clareza que lhe é característica:

“The manner of calculation is therefore as follows. Imagine a cubic meter of air enclosed in a cube with five fixed sides and one side at the top movable upwards. On the top side weighs the pressure of the air, which can be represented by the weight of mercury column of one square meter cross-section and 0.76 m height. If the air is heated from 0°C to 1°C, the top side is raised by 1/273 of a meter, and, since the weight on this side is $0.76 \times 1000 \times 13.596 \text{ kg}$, this corresponds to a work of 37.85kgm.



If the same air is heated from 0°C to 1°C in a cube with six fixed sides, the work spoken of comes to nothing; but, in this case, we need a smaller quantity of heat. The excess expenditure of heat in the first case is $1.2932 \times (C-c)$ in Kilogram-calories, that is to say,

the mass of a cubic meter of air multiplied by the difference of the two specific heats [1.2932 est la valeur de la masse d'air]. C is 0.23750 and $C/c=1.410$ [Mach utiliza aqui valores diferentes de Mayer, ele toma valores mais actualizados]; consequently $c=0.16844$ and $C-c=0.06906$. Thus the quantity of heat in question, in kilogram-calories, is 0.8931.

The number of kilogram-meters divided by the number of kilogram-calories gives the mechanical equivalent of the unit of heat; that is to say the number of kilogram-meters which are equivalent to a kilogram-calorie is 423.8. Mayer only obtained 365 with the inaccurate numbers then at his disposal; somewhat later, Holtzmann used the same method, and concluded that the value lies between the limits 343 and 429" (idem, p.232 et 233).

Como já referimos, a imaginação de Mayer é muito sensível à presença das máquinas a vapor. O fascínio pelo "calor" deriva do mundo novo que está a emergir. O conhecimento relativamente a estas máquinas não se joga, contudo, apenas no estabelecimento do equivalente mecânico do calor. Mayer está atento às enormes "perdas" de "calor" e escreve: "we have no more chance of changing a given amount of heat *all* into work in one operation" (p.293). Ele chega, assim, ao reconhecimento de uma outra problemática:

"It is a technological problem to minimize as much as possible the unwanted effect of combustion, that is the liberation of heat into space" (p.294).

Embora Mayer veja o problema como tecnológico é interessante ver como naturalmente se chegará às questões que conduzirão necessariamente ao desenvolvimento da segunda lei. Veremos como Joule tenta, com pouco sucesso, mostrar a transformação de "calor" em trabalho.

As formas da "força"

Neste artigo, Mayer faz uma espécie de catálogo das formas da "força" conhecidas na época, estudando os fenómenos de conversão a elas associados (Helmholtz tratará, no célebre artigo de 1847, os mesmos fenómenos de conversão dando-lhes o tratamento matemático possível). São, então, identificadas as seguintes "forças":

- I- Força de queda
- II- Movimento

- A. Simples
- B. Vibracional
- III- Calor
- IV- Magnetismo
Electricidade
- V- Força Química
Separação química
Combinação química (p.305).

De entre todas estas “forças” podemos ver como Mayer continua fascinado pelo “calor”. O item dedicado ao “calor” é de longe o mais desenvolvido. Mayer não teve qualquer preocupação de equilíbrio no que diz respeito ao desenvolvimento dos diferentes itens. O “calor” suscita-lhe, naturalmente, mais interesse. A este respeito escreve:

“For a thousand years or more, the human race was almost exclusively restricted to the ever-recurring problem of setting resting masses in motion by means of the tools of inorganic nature, in particular the application of given mechanical effects. It was reserved for a later time to add a new type of energy to the energy forms⁴ of the old world, i.e., those of streaming wind and flowing water. This third form of energy which our century gazes on with wonder is *heat*” (p.288-289, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Neste texto há uma preocupação em exhibir todas as formas da “força”, contrariamente ao texto anterior em que Mayer concentra a sua atenção na “força de queda”, no “movimento” e no “calor”. No entanto, no que diz respeito às “forças” eléctrica e magnética, Mayer não pode senão fazer abordagens qualitativas, que continuam a ser um instrumento importante nas suas mãos ao qual nunca renuncia. As incursões às diferentes formas da “força” terminam com uma alusão à pilha voltaica, com uma imagem muito sugestiva e bonita:

“By means of the lever we can transform a given fall-force into another. We sacrifice a given spatial displacement in order to bring about another spatial displacement. The wonderful lever of the chemists is the voltaic pile” (p.304, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Os exemplos e as analogias

I - “Movimento”

Mayer começa por explorar o “movimento”. Ele desenvolve a relação entre as diferentes “forças” de uma forma piramidal (com o vértice para baixo). Ou seja, começa com uma “força”, neste caso o “movimento”, e como ainda não nomeou outras “forças” explora apenas as transferências de movimento. Quando nomear a “força” seguinte já poderá estabelecer mudanças de forma. Nesta estratégia, o fenómeno que poderá explorar na apresentação do “movimento” será o fenómeno das colisões. O exemplo sugerido é o caso tradicional das bolas de bilhar. A quantificação do “movimento” é dado pela *vis viva*:

“A billiard ball can by collision set many other balls in motion and still remain in motion itself. The magnitude of the *vis viva* of the whole system, however, stays the same before and after the collision” (p.287).

Se é verdade que Mayer tenta explorar esta “força” sem fazer apelo a outras ele não deixará, no entanto, de evocar o “calor”, o que faz todo o sentido se aceitarmos que o pensamento de Mayer se desenvolve numa espécie de cosmologia do “calor”. Com efeito, quando ele introduz o “movimento” podemos, facilmente constatar que o que lhe serve de modelo é o “calor”: “heat warms, motion moves” (p.287).

II - A “Força de Queda”

Mayer começa com o exemplo de uma massa, em repouso, a uma certa distância acima da superfície da terra. O que é que lhe acontece quando é libertada?

“[It] will immediately set in motion and will reach the ground with a velocity which is readily calculable. The motion of this mass cannot arise without the expenditure of energy. What is this latter energy?” (p.287).

Para responder a esta questão Mayer propõe:

“if we restrict ourselves not to the traditional assumptions but to the simple facts of experience, we readily become aware that it is the raising of the weight which is the cause of the motion of the weight” (p.287, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

⁴ Atenção: a palavra energia é utilizada por Lindsay e não por Mayer, como já referimos.

Mayer não quer uma resposta formal - generalização da conservação da vis viva -, mas quer relevar uma evidência fenomenológica. Com este raciocínio, mostra-se que a elevação de um peso à superfície da terra é uma “força” e Mayer designa-a por força de queda. A questão que se colocará seguidamente é a quantificação desta “força”. Aí, Mayer não terá mais que fazer apelo às fórmulas já estabelecidas em Mecânica. A “força de queda” e o “movimento” são representadas, como diz Mayer, pelo “collective name of mechanical effect” (p.288).

Chega, assim, ao enunciado:

“If fall energy is transformed into motion or vice-versa, the total mechanical effect maintains a constant value. This law, a special case of the axiom of the indestructibility of energy is known in mechanics as the principle of the conservation of vis viva” (p.288).

Ele termina este item propondo como exemplos da conservação da vis viva, ou seja, do princípio da indestrutibilidade da “força”:

“free fall from any height, fall along prescribed paths, pendulum oscillations, motions of the heavenly bodies” (p.288).

Esta estratégia de concentração sobre um exemplo muito simples, explorado fortemente do ponto de vista fenomenológico e equacionado do ponto de vista da quantificação (permitindo, deste modo, dar expressão ao princípio de conservação da “força”), seguido de uma diversificação de fenómenos, que permitem evidenciar o suporte empírico deste princípio, merece, da nossa parte, uma atenção especial. Ou seja, interessa-nos transformar a dimensão epistemológica do pensamento de Mayer numa dimensão pedagógica. Esta diversificação de exemplos permite alimentar a fase do romance. Aprendemos, com Mayer, a ligar o natural e o artificial; a terra e as “estrelas”.

III - O “Calor”

O velho mundo onde o “movimento” é produzido por acções mecânicas está a mudar: uma nova “força” atrai as atenções – o “calor”. Com ela tudo muda e Mayer deixa-se seduzir pelos seus efeitos.

Que o “calor” é uma “força” não levanta, a Mayer, qualquer dúvida. Portanto, será transformável quer em “movimento”, quer em “força de queda”.

O primeiro exemplo, neste item, abordado por Mayer é a origem do movimento de um comboio:

“Let us suppose that a wagon having a mass of 100,000 pounds is given a velocity of 30 feet per second. By the expenditure of an appropriate amount of energy this can be achieved. For example, the wagon train can gain this velocity by rolling down a suitable inclined plane. As a rule, however, the train will be set in motion without the expenditure of "fall energy" and in spite of friction, etc., will maintain this motion. When a rise in elevation of the path of 1 part in 150 is assumed (as equivalent to the friction) then a velocity of 30 feet per second will be enough to raise the train load 720 feet in 1 hour, which corresponds to an expenditure of 45 horsepower. This enormous quantity of motion originally produced assumes an equally great quantity of expended energy of some kind. The effective energy in the case of a locomotive pulling a train is heat" (p.289, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Deste modo, Mayer calcula o equivalente em “força de queda” da “força” utilizada pelo comboio na aquisição de uma determinada velocidade. Manter esta velocidade implica utilização de mais energia, já que há atrito. É como se o comboio tivesse, sempre, de subir uma colina, cuja inclinação Mayer quantifica. A abordagem deste exemplo termina da seguinte forma:

“The expenditure of heat or the transformation of heat in motion rests on the fact that the quantity of heat which is taken up by the steam is continually greater than that which is given up when the steam is exhausted and condensed in the surroundings. The difference is the heat transformed into mechanical activity (work)” (p.289).

Esta preocupação permanente na explicitação do aspecto da conservação, mesmo quando Mayer não tem possibilidade de quantificar as “forças” em questão, deve ser colocada em evidência.

Ao relevarmos este aspecto temos em mente o testemunho de uma professora. Dizia, ela, perplexa:

“Depois de tantos anos de ensino e só agora me apercebo que numa barragem quando há transformação de energia – energia cinética em energia eléctrica – o alcance da água é inferior a uma situação em que não há transformação de energia”. Tal desabafo foi suscitado por uma pequena representação experimental da situação. Com efeito, quando o professor “traz para a aula” a barragem é, na maioria das vezes, com o único objectivo de enumerar as

transformações de energia, sem que traga ao mesmo tempo a conservação da energia. Isto não quer dizer que o professor não saiba que a energia se conserva, o que falta é um certo treino na adaptação de umas ideias às outras. Com efeito, como diria Mach, é necessário adaptar as ideias aos factos e as ideias entre elas. Descurando a explicitação da conservação, desenvolve-se a ideia de transformação num fundo incoerente, onde há lugar para as impressões de não conservação.

Neste texto, Mayer retoma a analogia do texto de 1842, que lhe valerá fortes críticas, e dá-lhe um lugar de destaque: a analogia entre um corpo que cai à superfície da terra com o caso de um corpo que se contrai produzindo “calor”. A este propósito escreve:

“If we assume that the whole earth's crust could be raised on suitably placed pillars around its surface, the raising of this immeasurable load would require the transformation of an enormous amount of heat.

Since it is clear that such a volume increase in the earth is connected with a corresponding quantity of heat becoming "latent", it is likewise clear that in a volume decrease of the earth a corresponding quantity of heat will be set free. But whatever holds for the earth's crust as a whole must also apply to every fraction thereof. In the raising of the smallest weight, heat (or some equivalent form of energy) must become latent; and by the falling of this weight to the earth's surface, the same quantity of heat must be set free" (p.294).

Esta analogia testemunha, de forma evidente, o pendor para uma cosmologia do “calor” no pensamento de Mayer.

Seguidamente Mayer dá alguns exemplos de transformação de efeitos mecânicos em “calor”, conhecidos desde há muito mas só agora interpretados do ponto de vista da transformação: fenómenos de colisão e de atrito. A este respeito escreve:

“We observe the heating of the great mill stones and of the flour in the grist mill, the heating of the great driver and the linseed oil mill, of the wood in the dye mills, the never-ending heating of the axles of all wheels in motion. We remember the famous experiments of Rumford! Everywhere we note the same phenomenon: endless heat production with the expenditure of mechanical activity” (p.297).

É neste quadro que Mayer nos faz um pequeno relatório das suas observações “on four pulp cylinders in a paper factory” (p.297). Estas observações ilustram bem a continuação do interesse de Mayer pelas máquinas.

Poderemos ilustrar, com uma certa espectacularidade, a transformação do atrito em calor recorrendo à experiência de Tyndall (figura 4.4).

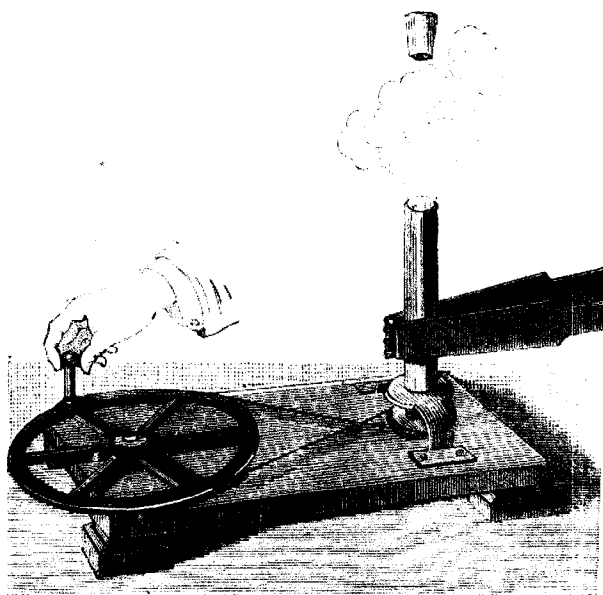


Figura 4.4 *Chaleur dégagée par frottement*
(imagem retirada do livro *Physique et Chimie Populaires*, p.398)

William Thomson utilizou nos seus cursos esta demonstração pela dramatização que ela lhe permitia.

Quanto às colisões Mayer retoma a analogia que lhe é muito cara: a analogia com a matéria. Assim, escreve:

“Just as portions of matter of opposite qualities, such as an electronegative acid, can neutralize each other, so motions in opposite directions can neutralize each other. The continuing entity changed in quality but unchanged in quantity is the neutral salt in the first

illustration and heat in the second” (p.298).

Sobre as transformações inversas (de “calor” em trabalho) Mayer escreve:

“But we have no more chance of changing a given amount of heat *all* into work in one operation than we have of transforming chlorine, hydrogen and a metal into a metallic chloride salt without the formation of other products” (p.294).

Mais uma vez, o raciocínio analógico ajuda-o a entender uma constatação fenomenológica.

IV - Electricidade e Magnetismo

Este item começa pela evocação de um “electrophorus of ideal perfection” (figura 4.5), dispositivo mais simples do que a máquina eléctrica, utilizado para produzir pequenas descargas eléctricas (energia mecânica-energia eléctrica. E conclui:

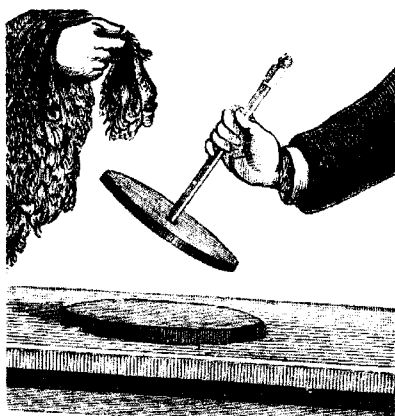


Figura 4.5 Electroforo (cópia da gravura reproduzida em Physique et Chimie Populaires, p.47)

“the base of the electrophorus, like the lever or the retort, is nothing more than an instrument which the experimenter uses to bring about a metamorphosis” (p.300).

Outras situações de produção de energia eléctrica por acção mecânica, referidas por Mayer:

- “A pendulum set in vibration will continue to move back and forth without loss of amplitude if friction and air resistance can be neglected. However, if a metal pendulum bob (insulated electrically from its surroundings) is permitted to swing near a electrified non-conductor and if periodically sparks are drawn from it while it is in the region of influence of the charged body, the amplitude will be observed to grow smaller: the mechanical energy of the pendulum motion will be successively transformed to electrical energy” (p.92).
- A produção de electricidade por fricção.

Para completar este item Mayer terá de referir a transformação da energia eléctrica em efeito mecânico, o que faz de uma forma pobre, mas não deixa de o fazer. Com efeito, escreve a este respeito:

“In the transmission of electricity the attraction relations just discussed are reversed and by the expenditure of electrical energy mechanical energy is produced” (p.300).

Mayer está muito longe de Joule, no que diz respeito à familiarização com os motores eléctricos e com os dínamos. No entanto, o interesse conceptual sempre presente em Mayer faz com que as suas apresentações tenham sempre interesse. No presente caso, a sua preocupação em apresentar as conversões sempre nos dois sentidos é de relevar.

Quanto ao magnetismo, Mayer não faz qualquer desenvolvimento, limitando-se a dizer que é análogo ao caso da electricidade:

“In analogy with the production of electricity, magnetism can also be produced by the expenditure of mechanical energy. A given magnet here plays the role of the electrophorus. Through the magnetization of a previously unmagnetized steel bar the

same attraction relations ensue as those considered above in the case of the electrophorus.

The result is similar: expenditure of mechanical energy leads to the production of electric and/or magnetic potential” (p.300).

O raciocínio por analogia está sempre muito vivo ao longo da sua apresentação. No que diz respeito ao magnetismo, Mayer limita-se a este tipo de raciocínio.

V - As “forças” químicas

Da experiência, escreve Mayer, aprendemos que:

“the same energy effect can be gained from a chemical combination of certain materials as from a mechanical joining [refere-se, certamente, ao fenómeno das colisões], that is to say, the development of heat. The presence of chemically different substances or rather the chemical differences of various portions of matter constitute a source of energy” (p.301).

Mayer dá dois exemplos de combinação química: carbono com oxigénio; hidrogénio com oxigénio. A este respeito escreve:

“The chemical combination of 1 gram of carbon and 2.6 grams of oxygen is approximately equivalent in order of magnitude to the mechanical joining of a particle of mass 0.5 gram and the earth. In the former case 8500 calories of heat are produced and in the latter case 7400 calories. The chemical combination of 1 gram of hydrogen with 8 grams of oxygen (it being assumed with Dulong that the heat of combustion of hydrogen is 34,743 calories per gram) is in order of magnitude equivalent to the mechanical combination of a mass of 2 grams with the earth. In the former case the heat developed is about 34,700 calories. In the latter case is about 30,000 calories” (p.301).

Para estas determinações, Mayer utiliza os calores de combustão, já conhecidos, e o valor de 14987 calorias, como o efeito calorífico produzido na junção de um corpo, com uma massa de um grama, inicialmente infinitamente separado da terra com a superfície terrestre. Começamos aqui a perceber o relevo que ele dá à analogia pela qual foi tão criticado. Com efeito, esse raciocínio permite-lhe mais do que uma simples comparação quantitativa, ele permite-lhe estabelecer um paralelo fenomenológico. Perguntamo-nos: porque é que Mayer segue este caminho de comparação entre “forças” químicas e “forças de queda”? Ele pretende colocar em evidência as diferenças dos efeitos caloríficos destes dois fenómenos em duas escalas diferentes – a superfície da terra e o mundo astronómico:

“For relatively small separations and low velocities the energy associated with mechanical effects falls far below that connected with the better known chemical combinations. The situation is otherwise, however, if we look beyond our immediate surroundings into space” (p.302).

E concretiza, a propósito dos movimentos astronómicos:

“The earth moves in its orbit about the sun with an average velocity of 93,700 feet per second. In order to produce this motion by the combustion of carbon, an amount of carbon 13 times the mass of the earth would have to be burned. The quantity of heat connected with this would be in calories equal to 110,000 times the mass of the earth in grams. A small fraction of the kinetic energy of the earth's motion in its orbit would be sufficient to disintegrate the earth into the particles composing it” (p.302).

Mayer começa, deste modo, a preparar o terreno para a evidência da grandiosidade dos “movimentos” nos céus (aspecto que ele desenvolverá no artigo de 1848) e a perguntar-se de onde vêm estas “forças”. O seu raciocínio continua como segue:

“If we assume, however, that a particle equal in mass to the earth were resting on the surface of the sun, in order to remove this load and put it into motion in the present orbit of the earth with the earth's orbital velocity (the average distance of the earth from the sun=215 times the radius of the sun) it would be necessary to supply 429 times greater energy expenditure of carbon equal to 5557 times the mass of the earth” (p.302-303).

Estes valores numéricos impedem-nos de considerar as “forças” químicas como origem dos “movimentos” na escala astronómica. Aí, Mayer especula da seguinte forma:

“Since the energy of chemical reactions seems to be insufficient to bring about the above-mentioned effects, it may well be asked how we can conceive of an energy expenditure which was sufficient to bring about the planetary motions in the first place? Let us assume that “in the beginning” the earth was at rest at distance from the center of the sun equal to 430 times the radius of the sun and that from here it fell the equivalent of 215 radii of the sun into its present orbit. It would then have attained its present motion. We can make similar statements about all other planets. The major axes of their orbits provide a measure for the initial distances of the planets at rest from the sun. The major axes are the expression for the magnitude of the mechanical energy of each planet given to it by the creator. They stand as firm in this respect as all past time” (p.303).

Talvez Engels se tenha inspirado neste texto para dizer que a componente tangencial dos movimentos dos planetas é um resíduo da repulsão primitiva (p.79).

As “forças” químicas estão em jogo não apenas nos fenómenos de combinação química mas, também, na decomposição de substâncias. Ambos, poderão ser encarados, por analogia, a certos fenómenos mecânicos:

“Let us compare with these certain mechanical relations. A raised weight represents an expenditure of energy. A dropped weight which by the expenditure of a further mechanical effect compresses a stiff spring on which it falls and is then propelled upwards again by the expansion of the spring, represents in its deepest significance the expenditure of energy” (p.304).

Ou seja, a queda de um corpo à superfície da Terra é assimilada à combinação química, enquanto que a sua elevação corresponde à decomposição.

Depois de explorados estes fenómenos, Mayer introduz aquilo que ele designou como “the wonderful lever of the chemists” (a pilha). Encarando a fenomenologia da pilha por analogia com a alavanca, escreve: “we sacrifice a given displacement in order to bring about another spatial displacement” (p.304).

Ou seja, tal como a alavanca no mundo da mecânica, a pilha para os químicos é utilizada, essencialmente, na alteração da distribuição da energia química nos diferentes sistemas entre os quais há transferência de energia. Não deixa, no entanto, de referir as transformações de energia, por exemplo a transformação da energia mecânica em energia química, indirectamente através da mediação da energia eléctrica e do “calor” (p.306).

As metamorfoses possíveis

Mayer termina a primeira parte do texto apresentando uma lista de 25 experiências que testemunham as metamorfoses possíveis das 5 formas de energia então conhecidas.

Embora esta lista já não seja exaustiva hoje, vale a pena transcrevê-la, pois no diz respeito ao ensino da energia (9ºano) o estudo da energia térmica permanece perfeitamente separado do estudo da energia mecânica. Com efeito, o currículo está organizado em torno das duas formas de transferência de energia o que, embora a energia seja o conceito integrador, continua, propicia algum fundamento para que os dois itens trabalhados permaneçam irredutivelmente separados. Assim, chamamos a atenção para as experiências propostas de

conversão de energia mecânica em calor e vice-versa. É interessante notar que Mayer coloca a tónica na transformação, incluindo aí as transferências de energia. Nesse sentido fala de transformação de uma “força de queda” noutra “força de queda”. No que diz respeito ao “calor” considera diferentes espécies de calor, evidenciando a transformação de uma espécie de “calor” noutra espécie de “calor” na condução térmica.

Mayer não deixa de fazer referência ao fenómeno de Peltier, o que mostra o seu esforço de actualização.

Segue-se a transcrição da proposta de Mayer:

- “1.The transformation of one fall-force into another by means of the lever.
- 2.The transformation of fall-force (potential energy) into motional energy, either by free fall or by falling along a prescribed path.
- 3.The transformation of one motion into a second motion. This can take place completely through the central collision of elastic particles of the same mass or incompletely through collision and friction.
- 4.The transformation of energy of motion into fall-force (potencial energy) through the motion of a particle upwards from the earth’s surface. Such a transformation of both forms of energy can take place periodically as in the vibration of a pendulum and the central motions of the planets.
- 5 and 6.Transformation of mechanical energy into heat in the compression of elastic fluids, and by collision and friction. The absorption of light consists in a transformation of vibrational motion into heat.
- 7 and 8.The transformation of heat into mechanical energy follows from the expansion of gases under pressure, in steam engines, and in the vibrating energy in the radiation from heated bodies.
- 9.The transformation of one kind of heat into another by means of conduction.
- 10.The transformation of heat in chemical reactions. If compounds are decomposed by heat they are formed with the development of heat. Examples are the combination of sulphuric acid with water and the combination of sulphuric acid with water and the combination of lime with water.
- 11.The transformation of chemical energy into heat as in combustion.
- 12, 13, 14.The transformation of chemical energy into the galvanic current and the further transformation from the current into chemical energy as well as the transformation of the current into chemical energy in the voltaic pile.
- 15, 16, 17.The transformation of electricity into heat and mechanical energy: in the glowing of a wire conducting current, in the electric spark, the motions of electric and electromagnetic attractions, by electric discharges, especially in the lightning flash.

18. A partial transformation of one electric current into another giving rise to an induced current.

19. The direct transformation of heat into electricity in the phenomenon of thermoelectricity and in the production of cold through the Peltier³ effect.

20, 21. The transformation of mechanical energy into electricity by friction and induction.

22-25. The transformation of mechanical energy into chemical energy, indirectly through the transformation of the given energy into electricity and heat” (p.305-306).

Embora este conjunto de propostas de demonstração já não esgote as formas de energia conhecidas hoje, ela continua a ser muito interessante pois as possibilidades que temos de dar visibilidade às transformações energéticas continuam a ser as respeitantes às formas conhecidas no século dezanove.

As primeiras 6 propostas correspondem à utilização de objectos comuns, como é o caso da alavanca, bola, pêndulo, esfera + “trajectórias” de formas diferentes, seringa - esta última pouco utilizada mas muito importante por permitir relacionar domínios que aparecem, na física escolar, tradicionalmente separados. A

seringa, apresentada nas figuras 4.6 e 4.7, permite-nos ver de uma forma simples alguns dos aspectos essenciais no desenvolvimento da ideia de equivalência entre calor e trabalho. Com efeito, poder-se-á constatar que aplicando uma força sobre o êmbolo e

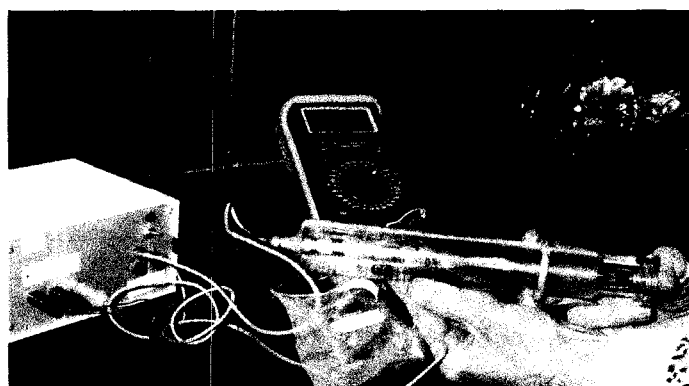


Figura 4.6 Transformação de trabalho em “calor”.

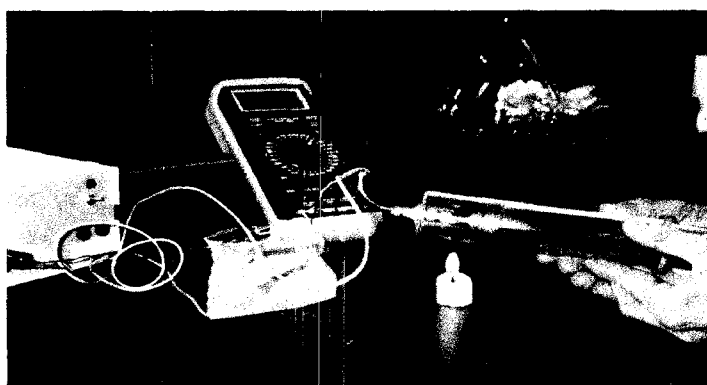


Figura 4.7 Transformação de “calor” em trabalho.

impedindo o seu deslocamento nada acontece. Pelo contrário se aplicarmos a força e permitirmos o deslocamento do êmbolo poderemos constatar a variação da temperatura do ar no seu interior. Mas quando há expansão do êmbolo, e consequente abaixamento de

³ Em 1834, Peltier descobriu o que viria a ser designado por efeito de Peltier mas o tratamento quantitativo deste fenómeno será realizado por Kelvin em 1854.

temperatura do ar poder-se-á dizer que o “calor” se transformou em trabalho? O deslocamento sem existência de força não terá também um efeito no abaixamento da temperatura? Para responder a esta questão foi necessário um desenvolvimento experimental para o estudo da expansão de um gás no vazio. Joule acusou Mayer de ele ainda não dispor deste dado, mas Mayer justificou a sua hipótese com base nos resultados das experiências de Gay-Lussac: a expansão de um gás no vazio não produz variação de temperatura.

As restantes propostas envolvem mecanismos, de fácil execução, uns, ou de fácil aquisição, outros, que serão imprescindíveis no ensino-aprendizagem desta temática:

- motor eléctrico, de fácil construção (figura 4.8). Podemos habitá-lo com uma parte da história de Joule (ver capítulo 5).
- máquina electromagnética, referida por Helmholtz nas suas lições públicas (ver capítulo

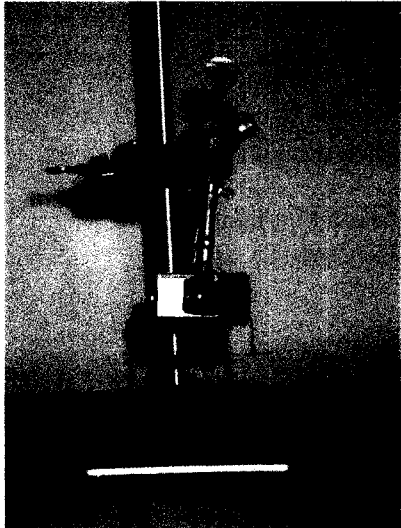


Figura 4.8 Motor eléctrico. Montagem artesanal, Laboratório de Física, U.E.

6) e muito utilizada por Joule (figura 4.9).

- máquina a vapor, charneira de uma revolução tecnológica, social e económica.
- Conversor termoelectrico, dispositivo que provoca algum interesse por ser pouco comum (figuras 4.10 e 4.11).
- radiómetro de Crookes (figura 4.12), instrumento bonito que, por não fazer parte do dia a dia, fascina.

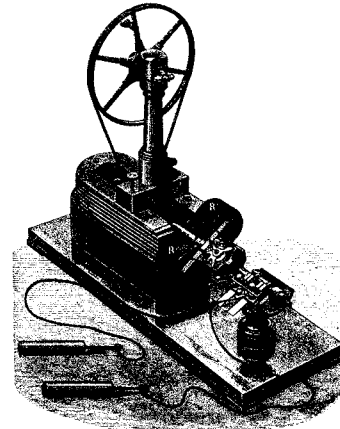


Figura 4.9 Máquina electromagnética em *Science and Culture*, p.123.



Figura 4.10 Conversor termo-eléctrico. Dispositivo existente no Laboratório de Física, U. E.

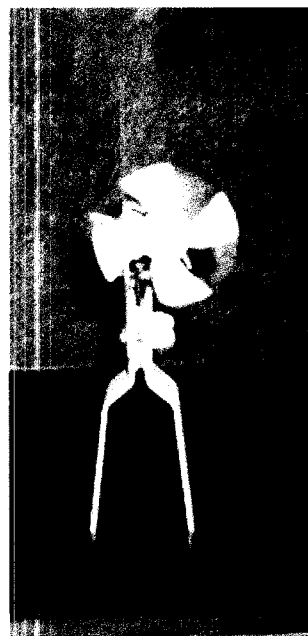


Figura 4.11 Violação da conservação da energia?



Figura 4.12 Radiómetro de Crookes

As leis físicas e os organismos⁴

“The blood, a slowly burning fluid, is the
«oil in the flame of life»”

Mayer, 1845 (p.122)

Lindsay refere-se a este texto de Mayer como a primeira aplicação das transformações de energia aos fenómenos biológicos e nesse sentido afirma:

“In a real sense it was the inauguration of what has come to be called biophysics. (...) There was a genuine need for a unifying concept and this was precisely what Mayer supplied in his essay” (p.35).

Como já referimos anteriormente todo o processo de construção conceptual, neste autor, começa com um fenómeno biológico: a cor do sangue nos países quentes. Mas todo o seu desenvolvimento inicial diz respeito ao mundo inorgânico. A aplicação mais tardia da lei fundamental da física aos fenómenos biológicos deve-se não somente a uma questão estratégica mas também a uma maior complexidade dos fenómenos nos sistemas vivos e ao facto da conservação como lei universal surgir mais tarde no processo de maturação conceptual. Recorde-se que, inicialmente, Mayer apenas estabelece a impossibilidade de criação de “força” para os fenómenos físicos do mundo inanimado à superfície da terra, o mesmo não dirá dos sistemas vivos. No entanto, desde o início ele estabelece a lei da indestrutibilidade da força como lei geral para o mundo físico e para os organismos.

Aproveitando a ideia de que a conservação da matéria é válida para os sistemas vivos, Mayer, por analogia, introduz a conservação da energia nos seres vivos:

“We know that the materials by which a plant grows and those which are eliminated by the plant are in sum equal to the materials absorbed. The tree which now weighs several thousand pounds has absorbed every grain of matter from its environment. There takes place in plants only a transformation of matter and not its creation.

This principle forms the bridge connecting chemistry and plant physiology. Its truth is more obvious a priori than through actual experimental investigations, which at any rate do not allow objections to be raised to it in individual cases. The same grounds force us to assume that plants are merely to transform energy and not to create it" (p.100, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

É interessante notar o carácter apriorístico de tais princípios e a sua ligação aos factos experimentais.

É neste quadro que Mayer põe o problema da força vital. Aceitar a "força" vital teria como consequência a renúncia da aplicação das leis da física aos fenómenos da vida. E consequentemente, a renúncia ao progresso e ao sucesso de que gozam as leis físicas. A existência de "força vital" é combatida axiomáticamente, a partir da discussão das transformações energéticas nas plantas:

"The creation of physical energy for itself alone is hardly thinkable. It appears all the more paradoxical if we consider the experiential fact that it is only with the help of sunlight that the plants are in a position to make their contribution. All further investigation would be cut off by the assumption of such hypothetical action of «vital energy», and it would render impossible the application of the laws of exact sciences to the study of life phenomena". Acting against the spirit of progress which manifests itself in the science of the present time, its proponents will be led into the chaos of the unrestrained play or phantasy. The author therefore believes that he can reckon on the intelligent understanding of his readers if in the following investigation he lays down this principle as having axiomatic truth: *that during life processes only transformations of matter and energy take place and never the creation of either*" (p.101-102).

Esta "verdade axiomática" será, em Mayer, o pano de fundo para a interpretação de toda a fenomenologia associada às plantas e à vida animal.

Continuando a explorar o que se passa nas plantas, depois de admitida a impossibilidade de criação de "força" Mayer pergunta:

"the further question arises whether this energy supply comes only from the consumption of sunlight or whether it does not flow from another source? The conjecture that plants absorb free heat from their surroundings and with its help could bring about chemical changes would, to be sure, be an obvious one. However, experience contradicts this

⁴ Este item e os seguintes correspondem à segunda parte (aplicação das leis físicas aos organismos) do artigo que estamos a trabalhar e que, como já foi referido, corresponde às páginas 99-145 do livro "Julius Robert Mayer –

conjecture. It teaches that heat by itself alone is not in a position to maintain the required chemical processes. The absorption of light accordingly remains the *sine qua non* of these processes. The ability of plants to bring about a transformation of physical energy appears to be limited to the metamorphosis of light" (p.102, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Das plantas, Mayer passa para os animais. A origem do calor animal é uma problemática que, na época, é objecto de uma atenção especial. Mayer explora, neste artigo, o mecanismo e a função da respiração, fazendo apelo aos trabalhos de Lavoisier e Liebig, preparando o terreno para a história da cor do sangue.

A sua preocupação na aplicação das leis físicas aos fenómenos da vida está sempre patente nesta segunda parte do artigo, como Mayer não se cansa de sublinhar:

"In the first part of this essay the role played by the combustion process in inorganic equipment to produce motion, namely the steam engine, was developed in its principal points. It is our present task to consider the various life phenomena in connection with their physical causes and to apply these considerations, gained from exact science, to the formulation of physiological principles" (p.111).

História de uma perplexidade - a cor do sangue

É neste artigo que Mayer aborda pela primeira vez a importância das observações, feitas por ele, relativamente à cor do sangue nos trópicos.

A história é introduzida para dar um certo conteúdo empírico ao desenvolvimento teórico feito anteriormente:

"Observations which I made in the Tropics taught me to recognise the role which the blood corpuscles play in the combustion process in the body. In a sea voyage of 100 days, out of a passenger list of 28 there occurred no serious incidence of sickness. However, a few days after the arrival in Batavia (Dutch East Indies) there broke out an epidemic of an acute catarrhal inflammatory affection of the lungs. In the ample blood-letting which I carried out, the blood from the veins in the arm had an unusually red color, so that if I had judged by color alone I might have thought I had struck an artery. At the same time the blood was very rich in fibrin, the cake sticking fast to the walls of the dish (in which the blood was placed). After 12-16 hours usually only a few spoonfuls of serum

had separated out. Never, however, did any crusta phlogistica show itself. After 3 weeks, during which we had sailed to Surabaya, the chest illness disappeared, but then dysentery appeared along with acute hepatitis which along with the contagion attacking from the black *schönen* accompanied our ship all the way back to the Cape of Good Hope. Since the military physicians at the Simpang hospital on Surabaya had indicated to me that the section of the veins in acclimatized Europeans was hazardous, I limited myself almost entirely to local-letting. In a copious venesection which I performed 2 months after our arrival in Java on a heavy seaman who had been attacked by hepatitis I found a normal black color of the blood" (p.125).

Estes dados todos têm a finalidade de evidenciar o seu conhecimento da complexidade do fenómeno em questão. Com efeito, a cor do sangue não é suficiente para a inferência sobre os níveis de combustão do sangue. Mayer preparou-se bem, quanto a esta questão, fazendo o controlo das variáveis que, na época, poderiam ser encaradas como possíveis origens para a mudança de cor do sangue. O pedaço de texto transcrito é meramente descritivo. A seguir vem a explicação:

"From the laws set forth earlier it follows of necessity that the temperature difference between the internal heat of the organism and the heat of the surrounding medium must stand in a definite numerical relation with the difference in color of the two kinds of blood, that of the arteries and that of the veins. The greater this temperature difference, the greater must be the color difference. This color difference is an expression of the magnitude of the oxygen consumption or for the intensity of the combustion process in the organism.

We recall here the temperature and color relations of cold-blooded animals, of the hibernator, as well as the animal fetus, and those afflicted with cyanosis. We recall also the bright red color of the blood which Thaeckrath observed when he bled a patient in a warm bath. Finally we recall the difference in color of the venous blood in the different seasons of the year, well known since the work of Autenrieth. The observations mentioned above belong indeed in this category. In the open sea the temperature difference (between body heat and environment) amounted to about 15°C, the air was in motion and hence cooling in its action. On the Java coast, however, the difference on the average was scarcely 5°C, the air was seldom in motion and usually quite stagnant. Nature therefore had the task of decreasing the chemical process to a corresponding degree, and this took place immediately: the arterial blood corpuscles in the capillaries

of the body were only incompletely reduced, whence the arterial color of the venous blood. After longer residence in the tropic zone, however other conditions appear” (p.125-126)

Se, como Mayer refere, já era conhecido o facto de a cor do sangue variar com a temperatura do meio circundante, como explicar a sua surpresa? Este momento crucial para o desenvolvimento do pensamento científico de Mayer não pode ser reduzido à mera constatação de uma cor diferente do sangue nos trópicos. Por aquilo que ele descreve noutros locais percebe-se que teve lugar algo de extrema importância, que do nosso ponto de vista poderá ter sido a ligação instantânea que ele estabelece entre o que está a observar e o texto sobre a respiração de Lavoisier, lido anteriormente. Aquilo que aparentemente é um início “n’est qu’une suite” (como diria Kieslowsky, ver letra da canção do seu filme “Vermelho”), resultado de várias “entradas” e interesses (emergência de F. Varela – ver livro “Introduction aux Sciences Cognitives).

Como é que Mayer vai passar daqui à ideia de que o calor e o trabalho são equivalentes? Neste texto esta questão é desenvolvida a partir da análise do que se passa nos músculos. Da mesma maneira, escreve Mayer, que a folha de uma planta transforma uma dada forma de energia, nomeadamente energia radiante na forma de luz, noutra forma de energia, nomeadamente química, assim o músculo no organismo animal produz energia mecânica às custas da actividade química nos seus vasos capilares.

“To use a well-known terminology, the muscle uses heat in status nascens to do work. We are unable to state further in any precise fashion the method by which the muscle as an organ carries out the transformation of chemical activity into mechanical energy. In countless cases these transformations of matter and energy via inorganic and organic routes are going on before our eyes and yet each of these processes provides an impenetrable mystery to human cognition” (p.128).

Sempre que possível, Mayer tem o cuidado de nos fazer sentir os limites da nossa condição de humanos. Já no fim da primeira parte deste texto ele dizia:

“nós sabemos que a natureza na sua verdade simples é maior e mais majestática do que qualquer estrutura construída pelas mãos do homem e do que todas as ilusões criadas pela mente” (p.99).

No seu artigo de divulgação de 1851 (publicado no Phil. Mag. em 1863) Mayer introduz esta história como segue:

“In the summer of 1840, on the occasion of bleeding Europeans newly arrived in Java, I made the observation that the blood drawn from the vein of the arm possessed, almost without exception, a surprisingly bright red colour.

This phenomenon riveted my earnest attention. Starting from Lavoisier’s theory, according to which animal heat is the result of a process of combustion, I regarded the twofold change of colour which the blood undergoes in the capillaries as a sensible sign - as the visible indication - of an oxidation going on in the blood. In order that the human body may be kept at a uniform temperature, the *development* of heat within it must bear a quantitative relation to the heat *which it loses* - a relation, that is, to the temperature of the surrounding medium; and hence both the production of heat and the process of oxidation, as well as the *difference in colour of the two kinds of blood*, must be on the whole less in the torrid zones than in colder regions” (p.498, 499).

Aqui a história aparece bastante mais simplificada. A cor do sangue depende do nível de combustão do sangue e este da temperatura ambiente. Mas será que o nível de combustão apenas depende da temperatura do meio ambiente? Isto é, será que este processo de combustão apenas tem como função a manutenção da temperatura dos corpos dos seres vivos? O artigo de Lavoisier sobre a respiração põe, também, em evidência a relação entre a combustão e o movimento, nos homens. Mayer coloca, neste artigo de 1851, a questão desta maneira:

“ (...) the animal body evolves heat on the one hand directly in its own interior, and distributes it by communication to the objects immediately surrounding it; while, on the other hand, it possesses, through its organs of motion, the power of producing heat mechanically by friction or in similar ways, even at distant points. We now require to know

Whether the heat directly evolved is ALONE to be laid to the account of the process of combustion, or whether it is the Sum of the heat evolved both directly and indirectly that is to be taken in calculation” (p.499,500).

Mayer é bastante engenhoso na forma de colocar as suas questões. Esta forma de colocar o movimento como produção indirecta de calor prepara habilmente a resposta à questão levantada:

“a não ser que se queira atribuir novamente ao organismo a capacidade de criar calor, o que lhe tinha sido negado, não pode ser assumido que o calor que ele produz possa ser em quantidade superior à acção química que tem lugar. Na teoria da combustão não há, portanto, alternativa, a não ser que se sacrifique a própria teoria, senão admitir que a quantidade *total* de calor desenvolvido pelo organismo, em parte directamente, e em parte indirectamente por acção mecânica, corresponde quantitativamente ou é igual à quantidade de combustão” (p.500).

Deste raciocínio decorre, como refere o próprio Mayer, “que o calor produzido mecanicamente pelo organismo deve manter uma relação quantitativa invariável com o trabalho dispendido na sua produção” (p.500).

O artifício e os organismos

É muito interessante ver como Mayer se relaciona com os diferentes entes do nosso universo. A hierarquia máquinas (mecânicas) – natureza inorgânica - máquinas térmicas - organismos permite-lhe passar do natural-simples ao artificial e deste a um natural-complexo. A grande ideia de fundo, em Mayer, é que a Natureza excede a nossa imaginação e a nossa capacidade de criação de novos artefactos (Contrariamente a Helmholtz para quem a mente e o sentido estético permitem a criação de harmonias que não são evidentes na natureza – ver capítulo 6). Ora o seu fascínio pelas máquinas advém do facto de artificialmente ser possível produzir algumas metamorfoses (no que diz respeito às diferentes formas de energia) que naturalmente poderão não ocorrer. Terá o homem superado a Natureza através da criação de objectos mais sofisticados como é o caso da máquina a vapor? De forma alguma, dirá Mayer. Os organismos, entes naturais, ultrapassam em perfeição e em sofisticação todos os entes artificiais criados pelo homem. Mas serão estes entes artificiais, que ao longo de toda a sua vida, jogarão um papel importante nas questões que se irá colocando (recorde-se o Mayer-criança a brincar com mecanismos junto ao rio).

Conta-nos Mayer:

“the eminent engineer, Mr. E. Schaufellen of Heilbroon, has fitted up an aspirator in the stack of a steamship, a wheel which, driven by the machine itself, draws a strong stream of air through the burning coal in the boiler and thus facilitates the emergence of the

combustible material in the form of binary oxygen compounds without the appearance of soot or black smoke. This apparatus rests on a happy imitation of the life process: a small part of the mechanical energy produced at the expense of the heat of combustion is applied to facilitate mechanically the entrance of oxygen and thereby to prevent the formation of inappropriate products” (p.114) (o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Percebe-se como a tecnologia do calor, centrada nos processos de combustão, vem ocupar um lugar tão importante no pensamento de Mayer. Por um lado, aproxima-se mais dos seres vivos, por outro lado, permite colocar em evidência quanto o artificial fica aquém do natural. Mas é a sofisticação do artificial que vai permitindo, do ponto de vista de Mayer, uma maior compreensão do natural. Como escreve Lindsay:

“Mayer marvels at the complexity of life, but feels that he has made certain aspects of it, at any rate, more understandable in terms of the great principle of energy” (p.42).

Mas esta compreensão tem limites como Mayer não se cansa de dizer (ex. p.128).

A analogia músculo-máquina a vapor

A analogia entre o músculo e a máquina a vapor é um dos aspectos importantes desta segunda parte do texto e a sua integração no organismo e no barco a vapor, respectivamente, valeu-lhe o título de precursor da cibernética, conferido por Lindsay: “Mayer comes very close to introducing cybernetics into the physiological problem” (p.37).

A analogia é desenvolvida como segue:

“In order to be able to accomplish the transformation of chemical energy into mechanical energy, animals are equipped with specific organs which are entirely lacking in plants. These are the muscles.
(...).

As in the case of the whole organism, the muscle as an organ has its psychical as well as its physical side. We count the nerve influence as representing the former and the chemical process as representing the latter. The motion of a steamship obeys the will of the helmsman and the engineer. The mental influence without which the ship would never get into motion or would indeed go to pieces on the next reef, certainly guides but does not of itself move the ship. For the continuous motion, physical energy is needed,

provided by the coal. Without this the ship stays dead despite the strongest will of its pilot” (p.111).

As questões que naturalmente emergirão são: onde é que o músculo vai buscar a energia que dispense e como se dá a transformação de energia no músculo? À primeira questão Mayer responde que essa energia tem origem na combustão das substâncias orgânicas.

A transformação de energia química em energia mecânica, no músculo como noutras situações, é algo que Mayer considera inacessível ao homem:

“We are unable to state further in any precise fashion the method by which the muscle as an organ carries out the transformation of chemical activity into mechanical energy. In countless cases these transformations of matter and energy via inorganic and organic routes are going on before our eyes and yet each of these processes provides an impenetrable mystery to human cognition. It is a task of practical value for science to establish a rigorous indication of the natural limits of human inquiry” (p.128).

Há ainda todo um percurso a fazer no que diz respeito ao conhecimento sobre as transformações de energia. Como veremos, na Parte Terceira, um dos primeiros trabalhos científicos de Planck é um ensaio que discute muitos destes mecanismos, mostrando a complexidade de alguns desses mecanismos e a parca compreensão destes.

Fadiga e energia

Aplicar a conservação da energia aos seres vivos passa necessariamente por abordar a questão da fadiga, o que Mayer faz com grande mestria.

Mayer distingue duas formas diferentes de fadiga: uma, decorrente de um certo dispêndio de energia, a outra, decorrente de segurar um peso, por exemplo, sem dispêndio de energia. Neste sentido escreve:

“the energy expenditure of a man who with great exertion holds up a motionless weight or merely stands motionless himself for hours on end is equal to zero. A wooden figure could indeed accomplish the same” (p.143).

E mais adiante continua:

“In order to keep a weight freely floating in air neither an animal organism nor a steam engine is the suitable instrument. The best thing here is to use a hemp rope. *Suum cuique*” (p.144).

Muito sugestiva esta ideia. Quando se trata deste tipo de fadiga o indivíduo pode em seguida desenvolver tarefas que impliquem dispêndio da sua energia, o que não acontece com o outro tipo de fadiga.

Na fadiga em que há dispêndio de uma forma de energia, a recuperação exige ingestão de alimentos e a sua combustão através da respiração - *nous sommes tous des âmes de feu*:

“A satisfactory meal and the rest needed for the production of blood can bring greater refreshment to one fatigued with vigorous exertion than a quiet sleep on an empty stomach” (Mayer, p.142).

Destaque-se a importância dada ao repouso, é necessário tempo.

Mayer dá ainda outro exemplo que ajuda a distinguir estes dois tipos de fadiga:

“the arm which after a long period of being stretched out horizontally sinks down from weariness, is able immediately thereafter to flex itself vigorously. The resting arm on the other side does not feel the fatigue at all. On the other hand, after a strenuous walk neither the arms nor the feet are disposed to make further energy expenditure” (id. p.144).

Quando um indivíduo faz um esforço exagerado o próprio organismo dá sinais de alerta. Com efeito:

“even the strongest human beings and animals in the strenuous production of mechanical energy, for example in the very fast climb of a height, get into the situation where breathing is accelerated and the heart palpates. Nature has thus taken the trouble to provide its creatures the means of taking care of extra exertion” (p.135).

E Mayer faz apelo às explicações que eram dadas antes de se estabelecerem conexões entre fenómenos químicos e fenómenos mecânicos, ou seja, antes do desenvolvimento do conceito de energia. Ele dá um exemplo retirado de um livro de Physiologie:

“A man who climbs a mountain breathes harder because in order to correct the change in the center of gravity of his body he must bend himself forward and in this way in his

forward motion the activity of his breathing muscles encounters difficulty. For similar reasons the respiration becomes violent for a man who jumps about, dances, etc.” (p.135).

É interessante contactar com este tipo de explicações para melhor perceber o que a energia vem transformar na visão do mundo.

Toda esta discussão em torno da fadiga é muito importante para os enquadramentos didácticos, uma vez que a energia é, por vezes, tomada como o oposto da fadiga.

O aspecto da conservação

Este artigo desenvolve-se em torno da universalidade da conservação da energia. Esta universalidade é colocada em evidência através da variedade e da qualidade dos exemplos trabalhados, exibindo uma união de mundos. Ou como escreve Tyndall (1864):

“The manner in which Mayer expands his conceptions from the union of atoms to the union of worlds is a remarkable illustration of his generalizing power” (p.35).

Com efeito, os mundos do natural e do artificial, do vivo e do astronómico estão unidos pela conservação da energia: “Em todos os processos físicos e químicos a energia envolvida permanece constante” (p.305).

A indestrutibilidade dá, definitivamente, lugar a uma ideia de conservação sem que se perca o essencial da indestrutibilidade – uma ideia substantiva da “força”. Com efeito esta passagem para a conservação não corresponde a uma “dessubstancialização” da energia.

Algumas considerações finais

Este artigo tem um grande interesse formativo. Esse interesse não pode ser sintetizado, há que passar pela exploração que fizemos. Destacamos, em linhas gerais:

- A conservação como ideia guia, sempre presente mesmo na exploração qualitativa de fenómenos
- O mistério das conversões de energia. Os limites que Mayer impõe ao seu pensamento são no sentido do enaltecimento da Natureza. A conservação da energia não é tudo: não permite esclarecer os mecanismos das transformações de energia.
- A listagem das transformações de energia.
- A história da cor do sangue. Esta história é muito interessante, sem que nos estejamos a preocupar se os passos, no que diz respeito ao conhecimento fisiológico, estão correctamente trabalhados. O mesmo acontece com o texto de Lavoisier sobre a respiração que vale, não pela sua melhor ou pior aproximação ao mecanismo da respiração, mas pela encenação que assim consegue construir, de grande visibilidade e muito sugestiva, em torno da comparação quantitativa de fenómenos tão diferentes como são o pensar e o pedalar (ver capítulo 7).
- O “romance”, que está sempre presente nos textos de Mayer. Com efeito, podemos sentir o seu maravilhamento nas ligações que constantemente tenta desenvolver.

Ideias-chave:

Metamorfoses da “força” – Conservação – Vida – Conhecimento – Mistério – Mudança da cor do sangue.

4.6 O texto de 1851¹

“Bemerkungen über das Mechanische Aequivalent der Wärme” (“Remarks on the Equivalent of Heat”)

“even by the most correct method of investigation, nothing can be attained without toil and industry”

Mayer em *Remarks on the Equivalent of Heat*, p.494.

Introdução

Este texto foi escrito dez anos depois da primeira tentativa, falhada, de publicação de Mayer. Podemos, por isso, esperar encontrar nele uma certa maturidade de ideias. Por ser um artigo de divulgação merece, da nossa parte, uma atenção especial, pelo valor formativo que este tipo de artigos encerra.

Contudo, este texto não pode ser considerado como a síntese do pensamento de Mayer. Com efeito, a riqueza de outros artigos, nomeadamente o texto de 1845, não deve ser esquecida.

O estudo crítico² deste texto permite-nos colocar em evidência as presenças entrelaçadas do “romance” e da “precisão” na construção do conhecimento.

Se na frase em epígrafe Mayer diz que um bom método não é tudo na progressão do conhecimento há, no entanto, do seu ponto de vista, métodos mais eficazes que nos permitem uma construção mais rápida do conhecimento, depois da sua invenção. Seja na progressão do conhecimento, seja na sua aprendizagem, o esforço e o engenho aí investidos são etapas determinantes.

Neste texto, Mayer explicita um método para a construção do conhecimento das leis da natureza. Ele opõe o tempo histórico necessário ao desenvolvimento destas leis ao tempo de

¹ Este texto foi publicado, em 1851, sob a forma de panfleto e com a finalidade de divulgação das novas ideias junto do grande público. Foi publicado no *Philosophical Magazine* em 1863 (S.4, N°171, Vol.25), numa tradução de G. C. Foster. É esta versão do texto que nós utilizaremos.

aprendizagem das mesmas com um bom método. O método proposto desenvolve-se em torno da máxima: “é necessário aprender a *conhecer* os fenómenos”. Exploraremos, seguidamente, o significado desta máxima e o seu valor pedagógico. No entanto, podemos desde já referir a carga emotiva que esta frase transporta, alimentando, desta forma, o “romance”.

Este artigo tem uma finalidade didáctica:

“now that we are at last in possession of the truth, we speak of a method by the application of which the most essential fundamental laws might have been discovered without waste of time, it is not that we would criticise in any light spirit the efforts and achievements of our forerunners: it is merely with the object of laying before the reader in an advantageous form one of the additions to our knowledge which recent times have brought forth” (p.493, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Se, como já foi dito, este texto não deve ser encarado como a síntese das suas ideias, ele é, no entanto, o resultado de um percurso de clarificação conceptual e desenvolve-se em torno de uma vontade-necessidade de pensar o conhecimento sobre a natureza.

“Aprender a conhecer os fenómenos”

A propósito da posição de Mayer no que diz respeito à teoria do conhecimento, Mach (1886) escreve:

“Mayer followed out his ideas with a powerful instinct. We can hardly believe, in the face of his own words, that his intellectual position, from the point of view of the theory of knowledge, was ever quite clear to him” (p.231 – Principles of the Theory of Heat).

Na verdade, podemos identificar alguns polos de tensão na explicitação das suas ideias, derivados de algumas ambiguidades, que, de certa forma, podem ser encarados como dimensões de enriquecimento de uma possível teoria do conhecimento. No artigo que estamos a trabalhar, em que está presente a necessidade de falar de modos de conhecimento, há,

² A palavra crítico é aqui utilizada no sentido de Henry James: “to criticize is to appreciate, to appropriate, to take intellectual possession, to establish in fine a relation with the criticized thing and make it one’s own” (Henry James citado por Martin Klein, p.418, em *Principles of the Theory of Heat*, de E. Mach, 1986).

contrariamente aos artigos anteriores, alguns aspectos que cristalizam, fazendo, assim, existir um Mayer mais reducionista.

Desde o início das suas publicações, Mayer aparece-nos habitado por uma certa tensão entre o qualitativo e o quantitativo, entre o ver e o medir. Mostrámos como, no primeiro artigo, os dois polos estão presentes, havendo um lugar de destaque para a fenomenologia qualitativa. Será que podemos afirmar que, no pensamento de Mayer, o polo do qualitativo predomina sobre o outro? Neste primeiro artigo e no artigo de 1845 contactamos com um Mayer que para pensar precisa de uma fenomenologia qualitativa. O número representa, de certa forma, a fixação do pensamento. Até aí Mayer guiava-se pela ideia de que o número não representa nada sem o fenómeno. No artigo presente, a ideia guia é que o fenómeno não diz nada sem o número. Contudo, Mayer acaba por integrar harmoniosamente estes dois polos na expressão - bem conseguida: aprender a *conhecer* os fenómenos. Esta expressão evoca afecto e conceito (Deleuze).

Um método

Aprender a conhecer os fenómenos é o aspecto central, neste artigo, de um método eficaz para o conhecimento da natureza. Nesse sentido, Mayer escreve:

“The most important - not to say the only - rule for genuine investigation of nature is, to remain firm in the conviction that the problem before us is to learn to know phenomena, before seeking for explanations or inquiring after higher causes” (p.493, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta frase está carregada de sentido pedagógico e contrasta com muitas das práticas pedagógicas no ensino da física. Importa, então, clarificar em que é que consiste “aprender a conhecer os fenómenos”. Como veremos, é, sobretudo, através dos exemplos trabalhados por Mayer que poderemos melhor compreender o alcance, afectivo e significativo, desta bela expressão.

Explicitando o seu pensamento escreve:

“The rule which must be followed, in order to lay the foundations of a knowledge of nature in the shortest conceivable time, may be comprised in a few words. The natural phenomena

with which we come into most immediate contact, and which are of most frequent occurrence, must be subjected to a careful examination by means of the organs of sense, and this examination must be continued until it results in quantitative determinations which admit of being expressed by numbers.

These numbers are the required foundations of an exact investigation of nature” (p.494).

Para que “o método” se torne mais claro torna-se necessário explorar o significado das expressões “a careful examination by the organs of sense” e “this examination must be continued until it results in quantitative determinations”. Para isso há que mergulhar nos exemplos.

Mayer começa por apresentar dois fenómenos que, sendo correntes, têm o mérito de suscitar uma perplexidade inicial (pela contradição aparente): a queda de um corpo e a ascensão de um líquido em tubos de sucção.

Começa, então, por explorar a queda livre de um corpo, por se tratar do fenómeno mais frequente, mais simples e ao mesmo tempo o mais importante (p.494). Vejamos como Mayer aplica o seu método de produção de conhecimento perante este fenómeno:

“When this process is analysed in the way that has been mentioned, we immediately see that the weight strikes against the ground the harder the greater the height from which it has fallen; and the problem now consists in the determination of the quantitative relations subsisting between the height from which the weight falls, the time occupied by it in its descent, and its final velocity, and in expressing these relations by definite numbers” (p.494, os sublinhados são da nossa responsabilidade).

Mayer deu sempre muita importância ao “ver” e aqui, mais uma vez ele dá relevo a esta dimensão. Mas o que significa, para Mayer, “ver”? Poderíamos traduzir o significado deste “ver” pela frase que Saramago utiliza no seu ensaio sobre a cegueira: “se podes ver repara”. Com efeito trata-se de um “ver” activo, que procura identificar parâmetros para poder dar origem a ligações interessantes. No exemplo em questão, a ligação evidente será entre a altura de queda do corpo e a violência do choque com o chão. O primeiro passo para o estabelecimento de relações quantitativas é a identificação dos parâmetros que estão em jogo. Mayer começa por identificar os três parâmetros que, se olharmos para o fenómeno no sentido de reparar, são facilmente identificáveis: a altura de queda, a velocidade final, o tempo de queda. A questão que se põe é a de saber se estes parâmetros bastam para o conhecimento da

queda dos corpos. É aqui que Mayer nos parece genial, como veremos. A exploração experimental à volta destes três parâmetros permite a seguinte quantificação:

“for every body a fall of 16 feet, or a time of descent of one second, corresponds to a final velocity of 32 feet per second” (p.495).

A “verdade” deste enunciado é universal? Explorando o segundo fenómeno, Mayer identifica um novo parâmetro que é fundamental para o seu conhecimento: a altitude. Mantendo a ligação com o primeiro fenómeno dispara a questão:

“Whether the laws of falling bodies, with which we have become acquainted at the surface of the earth, do not likewise undergo modification at greater distances from the ground. And if, as *a priori* we cannot but expect, this should be really the case, the further question arises, In what manner is the number already found modified by distance from the earth?” (p.495).

Esta forma de questionamento traduz a dimensão essencial das ideias de Mayer sobre a produção de conhecimento. Antes de aprofundarmos este aspecto vejamos como Mayer introduz e explora o segundo fenómeno:

“A second phenomenon of daily occurrence, which is in apparent contradiction to the laws of falling bodies, is the ascent liquids in tubes by suction. (...) we must again examine the phenomenon with attention and awakened senses; and then we find, as soon as we put a tube to the mouth to raise a liquid, that the operation is at first quite easy, but that afterwards it requires an amount of exertion which rapidly increases as the column of liquid becomes higher. Is there, perchance, na ascertainable limit to the action of suction? As soon as we once begin to experiment in this direction, it can no longer escape us that there is a barometric height, and that it attains to about 30 inches. This number is a second chief pillar in the edifice of human knowledge” (p.495, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Chegando, desta forma, a uma ideia de pressão atmosférica e a uma forma de a quantificar, Mayer está em condições de introduzir outro parâmetro:

“Question now follows question, and answer, answer. We have learned that the pressure exerted by a column of fluid is proportional to its height and to the specific gravity of the fluid; we have thus determined the specific gravity of the atmosphere, and by this investigation we are led to carry up our measuring-instrument, the barometer, from the plain to the mountains, and to express numerically the effect produced by elevation above the sea-level upon the height of the mercury-column” (p.495, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

É nesta corrente de pensamento que ocorre a questão de saber se a queda dos corpos também é sensível à altitude. À medida que o conhecimento se expande o conhecimento anterior relativamente a um fenómeno também se vai complexificando. Embora Mayer fale da verdade, esta nunca é total, pois vai integrando novos elementos.

Para saber se este novo parâmetro também entra nas leis das quedas dos corpos o procedimento não é tão imediato como o realizado no âmbito da noção de pressão atmosférica, pois a sensibilidade do fenómeno ao deslocamento da planície à montanha é muito reduzida. Como escreve Mayer:

“We have thus come upon a problem the solution of which is attended with many difficulties; for what has now to be accomplished, is to make observations and carry out measurements in places where no human foot can tread. History, however, teaches that the same man who put the question was also able to furnish the answer. Truly he could do so only through a rich treasure of astronomical knowledge” (p.495).

A questão, agora, é a de saber como pode o homem chegar, e como chegou, a este tipo de conhecimento:

“Astronomy is, without question, even in its principles, the most difficult of all sciences. We have here to deal with objects and spaces which forbid all thought of experiment, while at the same time the motions of the innumerable heavenly bodies are of so complicated a kind, that astronomical science, in its stately unfolding, is rightly considered the highest triumph whereof human intellect here below is able to boast” (p.497).

Mayer prepara-se, então, para colocar em cena a sua perplexidade e fascínio relativamente às capacidades humanas. Para isso, estabelece um contraste entre o que seria natural e o que efectivamente aconteceu na progressão do conhecimento. Nesse sentido, escreve:

“In accordance with the natural rule that, both in particulars and in general, man has to begin with that which is easiest and then to advance step by step to what is more difficult, it might well be supposed that astronomy must have arrived at a flourishing state of development later than any other branch of human knowledge. But it is well known that in reality the direct opposite was the case, inasmuch as it was precisely in astronomoy, and in no other branch, that the earliest peoples attained to really sound knowledge” (p.496, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Mayer introduz, deste modo, um outro ingrediente fundamental na progressão do conhecimento: o interesse (que neste caso está associado a uma necessidade: a necessidade de medir o tempo). O interesse pode subverter o natural. Ou seja, o interesse pode sobrepor-se às categorias psicológicas de construção do conhecimento. E, aspecto extraordinário para Mayer, este desenvolvimento primordial da astronomia, anti-natural, é comum a todas as raças humanas. Como foi isso possível? Utilizando um bom método, responde Mayer:

“It furnishes a remarkable proof that a right method is the most important condition for the successful prosecution of scientific inquiry” (p.496).

Apesar das dificuldades associadas à produção de conhecimento em astronomia:

“It was numbers that were sought, and numbers that were found. The overpowering force of circumstances constrained the spirit of inquiry into the right path, and therein led it at once from success to success” (p.496).

Com todo o conhecimento acumulado nesta área, Mayer está, então, em condições de dar resposta à questão:

“What is the numerical influence exerted by increased distance from the earth upon the known laws of falling bodies?” (p.496).

Toda esta estratégia traduz, de certa forma, o percurso de pensamento de Mayer no desenvolvimento das suas ideias, nomeadamente, no estabelecimento do equivalente mecânico do calor. Também aí ele não tinha acesso à experimentação, mas com imaginação pôde encontrar o conhecimento de que precisava, no conhecimento já acumulado, para poder dar

resposta à questão que se lhe colocava. Deste modo, parecem ser as questões formuladas a chave para a produção do novo conhecimento. Com o exemplo da queda dos corpos Mayer mostra como uma boa ideia pode emergir no contacto com outro tipo de fenómenos.

Mayer encerra este percurso respondendo à questão formulada:

“and we thus arrive at the pregnant discovery that, at a height equal to the earth’s semidiameter, the distance fallen through and the final velocity, for the first second, is four times less than on the surface of the earth” (p.497).

Este cuidado em dar valores com significado é uma constante nos escritos de Mayer.

Vimos anteriormente como o calor ocupava, na visão de Mayer da natureza, um lugar privilegiado. Este artigo continua a testemunhar isso. Vejamos como ele introduz a problemática do calor:

“In order to pursue our inquiry, let us now return to the objects which immediately surround us. From the earliest times, the phenomena of combustion must have claimed in an especial degree the attention of mankind. In order to *explain* them, the ancients, in accordance with the method of their naturalistic philosophy, put forward a peculiar upward-striving element of Fire, which in conjunction with, and in opposition to, Air, Water, and Earth, constituted all that existed. The necessary consequence of this theory, which they discussed with the most acute sagacity, was, that in regard to the phenomena in question and all that related to them, they remained in complete ignorance.

Here, again, it is quantitative determinations, it is numbers alone, which put the Ariadne’s clue in our hand. If we want to know what goes on during the phenomena of combustion, we must *weigh* the substances before and after they are burned; and here the knowledge we have already acquired of the weight of gaseous bodies comes to our aid. We then find that, in every case of combustion, substances which previously existed in a separate state enter into an intimate union with each other, and that the total weight of the substances remains the same both before and after the combination. We thus come to know the different bodies in their separate and in their combined states, and learn how to transform them from one of these states into the other; we learn, for instance, that water is composed of two kinds of air which combine with each other in the proportion of 1:8. An entrance into chemical science is thus opened to us, and the numerical laws which regulate the combinations of matter (*die Stöchiometrie*) hang like ripe fruit before us (p.497).

Este texto transporta-nos para uma afirmação de Planck³ (1909): “a simple glance into a precision laboratory shows us how many experiences and abstractions are comprised in one such measurement [weighing]” (p.25, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Um dos aspectos a salientar nas estratégias de pensamento de Mayer é a ligação permanente ao fenómeno, mesmo após a quantificação. Esta desenvolve-se no sentido do estabelecimento de ligações e permite, portanto, dizer mais sobre o fenómeno. “Feeling, thinking and acting” são as palavras-chave da teoria de conhecimento de Mach, mas podemos utilizá-las para caracterizar o pensamento de Mayer. No texto que acabamos de transcrever podemos, facilmente, identificar estas três categorias.

Se a operação de pesagem é um eixo fundamental no desenvolvimento da ciência química, as variações de temperatura têm uma presença assegurada nas diferentes operações químicas, o que faz com que a quantificação do “calor” transferido seja também uma dimensão essencial no âmbito da ciência química. Esta parte do texto pretende, portanto, introduzir os parâmetros que de forma frequente estão em jogo neste tipo de fenómenos (como no fenómeno de queda tinha identificado: altura, tempo, velocidade).

Chegado ao “calor”, Mayer escreve:

“We have long known, however, that in innumerable cases heat makes its appearance where no chemical action is going on; for instance, whenever there is friction, when unelastic bodies strike one another, and when aëriiform bodies are compressed.

What then takes place when heat is evolved in such ways as these?” (p.497).

Com os exemplos já trabalhados, Mayer preparou o caminho a seguir para o desenvolvimento da resposta a esta questão. Não são as discussões em torno da natureza do calor que poderão dar alguns frutos:

“After what has gone before, the reader cannot be in any doubt about what is the course now to be pursued. We must again make quantitative determinations: we must measure and count” (p.498).

A procura do número, em Mayer, tem não só uma função heurística mas também uma função conceptual. Com efeito, é preciso ser capaz de “ver” ligações onde outros não viram.

³ Ver texto “The Unity of the Physical World-Picture”, em *Physical Reality-Philosophical Essays on Twentieth-*

Mayer introduz o equivalente mecânico do calor como segue:

“If we proceed in this direction and measure the quantity of heat developed by mechanical agency, as well as the amount of force used up in producing it, and compare these quantities with each other, we at once find that they stand to each other in the simplest conceivable relation – that is to say, in an invariable direct proportion, and that the proportion also holds when, inversely, mechanical force is again produced by the aid of heat.

Putting these facts into brief and plain language, we may say,

Heat and motion are transformable one into the other.

We cannot and ought not, however, to let this suffice us. We require to know *how much* mechanical force is needed for the production of a given amount of heat, and conversely. In other words, the law of the invariable quantitative relation between motion and heat must be expressed *numerically*.

When we appeal hereupon to experiment, we find that rising the temperature of a given weight of water 1 degree of the Centigrade scale corresponds to the elevation of an equal weight to the height of about 1200 [French] feet.

This number is the MECHANICAL EQUIVALENT OF HEAT” (p.498).

O tradutor deste artigo de Mayer, G. C. Foster, acrescenta, numa nota de rodapé, que corrigindo o valor do calor específico do ar utilizado por Mayer, Regnault obteve como resultado, para o equivalente mecânico do calor, 426 kilograma-metro, utilizando o método de Mayer. Este valor está muito próximo do valor obtido por Joule, 425.

Esta foi a forma que Mayer encontrou para apresentar um dado já adquirido, no desenvolvimento do conhecimento científico. No entanto, ele tem a sensibilidade didáctica para sentir que, apresentado assim, o equivalente mecânico do calor não suscita, da parte do leitor, o interesse e o entusiasmo que lhe são devidos. Mayer pretende estabelecer uma ligação forte à temática. Para isso, vai desenvolver o texto de forma a evidenciar a presença constante das dimensões “feeling and thinking” na “experiência” científica paralelamente com o lema de que conhecer um fenómeno implica sempre uma acção de medida.

A importância e a significação do equivalente mecânico do calor

Mayer inicializa o processo de clarificação e de valorização do equivalente mecânico do calor contando a sua história da mudança de cor do sangue nos trópicos. A história será, no entanto, introduzida de forma mais simplificada, relativamente ao artigo de 1845:

“In the summer of 1840, on the occasion of bleeding Europeans newly arrived in Java, I made the observation that the blood drawn from the vein of the arm possessed, almost without exception, a surprisingly bright red colour.

This phenomenon riveted my earnest attention. Starting from Lavoisier’s theory, according to which animal heat is the result of a process of combustion, I regarded the twofold change of colour which the blood undergoes in the capillaries as a sensible sign – as the visible indication – of an oxidation going on in the blood. In order that the human body may be kept at a uniform temperature, the *development* of heat within it must bear a quantitative relation to the heat *which it loses* – a relation, that is, to the temperature of the surrounding medium; and hence both the production of heat and the process of oxidation, as well as *the difference in colour of the two kinds of blood*, must be on the whole less in the torrid zones than in colder regions” (p.499).

Depois de dar mais alguns detalhes fisiológicos, Mayer chega à seguinte questão:

“[the evolution of heat in the animal body] is of two kinds, inasmuch as the animal body evolves heat on the one hand directly in its own interior, and distributes it by communication to the objects immediately surrounding it; while, on the other hand, it possesses, through its organs of motion, the power of producing heat mechanically by friction or in similar ways, even at distant points. We now require to know

Whether the heat directly evolved is ALONE to be laid to the account of the process of combustion, or whether it is the SUM of the heat evolved both directly and indirectly that is to be taken into calculation” (p.500, texto transcrito na p.256 deste texto).

Para responder a esta questão, Mayer começa por contrastar o seu método com a mera especulação: “no wit of man is able to furnish a substitute for what nature offers” (p.500).

Para responder, de forma interessante, a esta questão há que ter conhecimento do seguinte enunciado:

“The physiological theory of combustion starts from the fundamental proposition, that the quantity of heat which results from the combustion of a given substance is *invariable*” (p.500).

Deste modo:

“the answer to the question started above is already given. For, unless we wish to attribute again to the organism the power of creating heat which has just been denied to it, it cannot be assumed that the heat which it produces can ever amount to more than the chemical action which takes place. On the combustion-theory there is, then, no alternative, short of sacrificing the theory itself, but to admit that the *total* amount of heat evolved by the organism, partly directly, and partly indirectly by mechanical action, corresponds quantitatively or is equal to the amount of combustion.

Hence it follows, no less inevitably, *that the heat produced mechanically by the organism must bear an invariable quantitative relation to the work expended in producing it*” (p.500).

E o raciocínio que leva a este enunciado é ainda reforçado com o seguinte argumento:

“For if, according to the varying construction of the mechanical arrangements which serve for the development of the heat, the same amount of work, and hence the same amount of organic combustion, could produce *varying* quantities of heat, the quantity of heat produced from one and the same expenditure of material would come out smaller at one time and larger at another, which is contrary to our assumption. Further, inasmuch as there is no difference in kind between the mechanical performances of the animal body and those of other inorganic sources of work, it follows that

AN INVARIABLE QUANTITATIVE RELATION BETWEEN HEAT AND WORK IS
A POSTULATE OF THE PHYSIOLOGICAL THEORY OF COMBUSTION” (p.500).

Para a conexão, expressa numericamente, entre “calor” e “movimento”, Mayer evoca o seu artigo de 1842. A esse desenvolvimento quantitativo, Mayer acrescenta que pairava no “ar” a ideia de conexão entre estas duas grandezas e dá o exemplo de Liebig, concluindo:

“From these, and from similar expressions of other scientific men, we may infer that science has recently entered upon a direction in which the existence of the mechanical equivalent of heat could not in any case have remained longer unperceived” (p.501).

Este “determinismo” do “ar dos tempos” contrasta com a forma accidental da sua descoberta e, de certo modo, tempera o lado accidental com o lado necessário da descoberta.

Qual o fundamento para esta nova lei natural? A este respeito Mayer escreve:

“[it] is referred back to a few fundamental conceptions of the human mind. The proposition that a magnitude, which does not spring from nothing, cannot be annihilated, is so simple and clear that no valid argument can be urged against its truth, any more than against an axiom of geometry; and until the contrary is proved by some fact established beyond a doubt, we may accept it as true” (p.501).

Se a proposição invocada tem um estatuto de axioma, há, no entanto, uma diferença substancial com o que se passa com os axiomas da geometria: a primeira tem um referente. Esse referente ensina-nos que:

“neither motion nor heat ever takes its rise except at the expense of some measurable object, and that in innumerable cases motion disappears without anything except heat making its appearance. The axiom that we have established leads, then, now to the conclusion that the motion that disappears becomes heat, or in other words, that both objects bear to each other an invariable quantitative relation. The proof of this conclusion by the method of experiment, the establishment of it in all its details, the tracing of a complete harmony subsisting between the laws of thought and the objective world, is the most interesting, but at the same time the most comprehensive problem that it is possible to find” (p.501, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta perplexidade mobilizadora que Mayer tão bem exprime dá conta do estado de romance, sempre presente no seu pensamento. Esta ligação harmónica entre o mundo interior e o mundo exterior dá a exaltação necessária para fazer durar o interesse pela temática, sobrevivendo ao esforço exigido para a sua compreensão.

Mayer é o primeiro a utilizar a palavra equivalente (texto de 1842). Considerando a natureza didáctica do artigo de 1851 ele sente a necessidade de discutir a utilização feita desta palavra no âmbito do estudo da “força” e confrontá-la com a utilização feita em Química da mesma palavra. Vale a pena seguir o pensamento de Mayer nesta questão:

“It is plain that the expression ‘equivalent’ is here used in a quite different sense from what it bears in chemistry. The difference will be shown most distinctly by an example. When the same weight of potash is neutralized, first, with sulphuric acid, the numbers which express the ratio which the absolute weights of these three substances bear to one another are called their equivalents; but there is no thought here either of the quantitative equality or the transformation of the bodies in question.

This peculiar signification which the word ‘equivalent’ has acquired in chemistry, is doubtless connected with the fact that the chemist has been able to determine the object of his investigation by a common quantitative standard, their absolute weights.” (p.503, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Deste modo, Mayer prepara-nos para a diferença de significação. Será interessante realçar como o problema se coloca diferentemente no estudo das “forças”. Para ilustrar essa diferença, Mayer continua a recorrer a exemplos da química imaginando, no entanto, que não haveria a referida medição comum:

“Let us suppose, however, that we could determine one body, for instance water, only by weight, and another, waterforming or explosive gas, only by volume, and that we had agreed to choose 1lb. as the unit of weight, and 1 cubic foot as the unit of volume; we should then have to ascertain how many cubic feet of explosive gas could be obtained from one pound of water, and conversely. This number, without which neither the formation nor the decomposition of water could be made the subject of calculation, might then be suitably called ‘the explosive-gas equivalent of water’” (p.503).

Finalmente, entra no domínio das “forças”, mostrando a pertinência e a importância da noção em questão:

“In this latter sense a raised weight might, in accordance with the known laws of mechanics, be called the ‘equivalent’ of the motion resulting from its fall. Now in order to compare these two objects, the raised and the moving weight, which admit of no common measure, we require that constant number is generally denoted by g . This number, however, and the mechanical equivalent of heat, whereby the relation subsisting between heat and motion is defined, belong both of them to one and the same category of ideas” (p.503).

Esta forma de tratar a questão abre claramente um espaço para a multiplicação de equivalentes mecânicos. Mais tarde Mach valorizará, nas suas ‘Popular Scientific Lectures’, esta questão. Nesses textos Mach conta que os seus alunos mais brilhantes lhe colocavam, por vezes a questão:

“Is there a mechanical equivalent of electricity as there is a mechanical equivalent of heat?”

É a partir desta questão que Mach vai colocar em evidência o carácter histórico, contingente, do aparecimento da noção de equivalente mecânico do calor. Vejamos, então, a resposta de Mach à questão colocada pelos seus alunos:

“Yes, and no. There is no mechanical equivalent of quantity of electricity as there is an equivalent of quantity of heat, because the same quantity of electricity has a very different capacity for work, according to the circumstances in which it is placed; but there is a mechanical equivalent of electrical energy.

Let us ask another question. Is there a mechanical equivalent of water? No, there is no mechanical equivalent of quantity of water, but there is a mechanical equivalent of weight of water multiplied by its distance of descent.

When a Leyden jar is discharged and work thereby performed, we do not picture to ourselves that the quantity of electricity disappears as work is done, but we simply assume that the electricities come into different positions, equal quantities of positive and negative electricity being united with one another.

What, now, is the reason of this difference of view in our treatment of heat and electricity?

The reason is purely historical, wholly conventional, and what is still more important, is wholly indifferent” (“On the Conservation of Energy” em *Popular Scientific Lectures*, p.167-168).

Ou seja, a questão está na diferença histórica dos percursos das medições do calor e da electricidade.

Esta forma (Mayer, Mach) de abordar a problemática do equivalente mecânico do calor é muito interessante e contrasta com a forma estática com que a mesma problemática é tratada nos manuais escolares. Aí não há lugar para a questão: “existirão outros equivalentes mecânicos?” Mesmo os alunos mais inteligentes não terão a “audácia” de formular tal questão.

A noção de “força”

Como temos vindo a referir, a conceptualização da noção de “força” ocupa um espaço privilegiado no pensamento de Mayer:

“In the paper that I have mentioned [refere-se ao seu artigo de 1842] it is further shown how we may arrive at such a conception of force as admits of being consistently followed to its consequences and is scientifically tenable; and the importance of the subject induces me to return to it again here” (p.503).

À medida que a cultura científica de Mayer se desenvolve, a consciência da importância da sua noção de força é cada vez mais evidente. A construção da sua significação passa pela discussão da designação de “força”. A preocupação com as palavras, dimensão importante da personalidade de Mayer, aproxima-se da ideia de que “o nome é a primeira verdade das coisas”.

A propósito de um nome

Mayer começa por citar as duas utilizações da palavra “força” no contexto da mecânica:

“The word ‘force’ (Kraft) is used in the higher or scientific mechanics in two distinct senses.

1. On the one hand, it denotes every push or pull, every effort of an inert body to change its state of rest or of motion; and this effort, when it is considered alone and apart from the result produced, is called ‘pushing force’, or shortly ‘force’, and also, in order to distinguish between this and the following conception ‘dead force’ (*vis mortua*).
2. On the other hand, the product of the pressure into the space through which it acts, or again, the product – or half-product – of the mass into the square of the velocity is named ‘force’. In order that motion may actually occur, it is in fact necessary that the mass, whatever it may be, should under the influence of a pressure, and in the direction of that pressure, traverse a certain space, ‘the effective space’ (*Wirkungsraum*): and in this case a magnitude which is

proportional to the 'pushing force' and to the effective space, likewise receives the name 'force'; but to distinguish it from the mere pushing force, by which alone motion is never actually brought about, it is also called the 'vis viva of motion', or 'moving force'" (p.504).

Se queremos construir uma noção geral de "força" deveríamos, como refere Mayer, integrar as características referentes a estas duas utilizações. A fazê-lo chegaríamos, necessariamente, a qualquer coisa do género: "força é tudo". Tal noção - equivalente à definição mais explícita: "force is everything which brings about or tends to bring about, alters or tends to alter motion" - não teria qualquer interesse. Esta solução, que é de deitar fora, resulta da integração de elementos de natureza muito diferente:

"Mere pressure (dead force) and the product of the pressure into the effective space (living force) are magnitudes too thoroughly unlike to be by possibility combined into a generic conception. Pressure or attraction is, in the theory of motion, what affinity is in chemistry – an abstract conception: living force, like matter, is concrete; and these two kinds of force, however closely connected in the region of the association of ideas, are in reality so widely separated that a frame which should take them both in must be able to include the whole world" (p.504, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Se a integração das duas noções não tem interesse, haverá que escolher qual das utilizações poderá dar melhores frutos. Mayer defende o nome 'força' no sentido 2. Para isso constrói uma argumentação interessante, que constitui um importante esboço de conceptualização. Esta argumentação começa por mostrar como a utilização da palavra 'força' no sentido newtoniano transportada para os contextos de aprendizagem em física elementar pode ser perigosa. Com efeito, esta 'força' "is available only in the higher branches of mechanics" (p.506), devido às ferramentas matemáticas de que precisa (equações diferenciais). Mas, por ser corrente tal facto:

"elementary physics in its present form, instead of being a well-grounded science, is only a sort of half-knowledge, such that on passing to the higher and strictly scientific departments the student must try to forget its principles and theorems as quicky as he can" (p.507, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Com esta caricatura, Mayer pretende mostrar como é possível uma outra abordagem aos fenómenos físicos que não seja apenas “meio-conhecimento”. Aí, a sua noção de força tem um papel central, como veremos. Se, nesta altura, o que era ensinado na física elementar era uma certa simplificação das leis de Newton, hoje continua a ser-lhes dado um lugar privilegiado no ensino da física. O testemunho do professor Pedro Goldman (1998) é elucidativo:

“It is remarkable how hard it is for us physicists to change the way we think. Indeed, it took me two years to realize that Newton’s laws are not needed on the music course. The fundamental concept for this course is instead that of energy. The course can be then built on three key concepts: that the total energy of an isolated system does not change in time; that energy can be transformed from one type to another; and that if the system is not isolated, energy can be transferred. It turns out that the concept of energy is easier to understand and leads directly to an understanding of the emission, transfer and reception of sound” (Physics World, Dezembro 1998, p.15-16, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Aparentemente estamo-nos a afastar da questão em discussão - a utilização da palavra ‘força’ – mas não estamos. Escolher o sentido 2 aproxima a ciência elementar da ciência, o conhecimento comum do conhecimento científico. Na verdade:

“It accords with the laws of thought, as well as with common language, to connect every production of motion with an *expenditure* of force. Hence ‘force’ is *Something which is expended in producing motion*; and this something which is expended is to be looked upon as a cause equivalent to the effect, namely the motion produced” (p.507).

Vimos como uma das palavras-chave nos textos de Mayer é “conexão”. Neste texto ele explicita a conexão enunciando-a como a relação entre ‘gasto’ e ‘realização’ (“*expenditure*” e “*performance*”). Como sempre que enuncia algo, Mayer ilustra com exemplos pertinentes:

“the connexion between expenditure and performance (in other words, the exhaustion of force in producing its effect) presents itself in the simplest form in the phenomena of gravitation” (p.507).

O recurso a este exemplo tem vários objectivos. Para além de querer mostrar a “realidade” da sua noção, Mayer pretende também mostrar que ela é eficaz no estudo dos fenómenos

gravíticos e que a sua noção é pertinente na interpretação da velocidade finita com que os corpos, vindos do infinito, atingem a superfície da terra. Deste modo:

“the cause of motion or ‘force’ is, under all circumstances, a finite magnitude which becomes exhausted in producing its effect” (p.508).

A conceptualização da “força” em Mayer, desenvolve-se em contextos fenomenológicos, daí a presença permanente de exemplos muito “visíveis” e que dão fundamento à ideia:

“the higher mathematics at once cease to be required in order to gain *admittance* into the theory of motion: nature presents herself in simple beauty before the astonished eye, and even the less gifted may now behold many things which hitherto were concealed from the most learned philosophers” (p.512, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta dimensão é reforçada, afirmando:

“to what relates specially to the questions about force, the first point to consider is, not what sort of thing a ‘force’ is, but to what thing we shall *give the name* ‘force’” (p.510).

Ainda a propósito da pertinência do nome ‘força’ escreve:

“it is an unassailable truth that the production of every falling motion is connected with a corresponding expenditure of a measurable magnitude. This magnitude, if it is to be made an object of scientific investigation (and why should it not?), must have a name given to it; and in accordance with the logical instinct of man, as manifested in the genius of language, no other name can be here chosen than the word ‘force’. But since this expression is already used in a quite different sense, we might be tempted to create for the conception which is as yet - in the fundamental parts of science at least - unnamed an entirely new name. But before betaking ourselves to this extreme course, which for reasons that are not far to seek would be the one whereby we should be brought most into conflict with existing usage, it is reasonable to inquire whether the word ‘force’, which in itself answers so well to the requirements of the case, is in its right place where it was first put by schools” (p.511).

Mayer não faz qualquer referência ao termo utilizado por Young (1807) para designar a *vis viva*: energia. Com efeito, esta designação não teve qualquer impacto nos manuais científicos. Só nos anos 1852 e 1853, o termo será revalorizado, como vimos, por Thomson e Rankine e por toda a discussão subsequente.

Considerando Mayer que a ‘força’ deve ser tomada no sentido 2, importa aprofundar toda a sua significação. Para isso volta à mecânica e explora aí o significado da *vis viva*:

“According to what has been said thus far, the *vis viva* of motion must be called a force. But since the expression *vis viva* denotes in mechanics, not only a magnitude which is proportional to the mass and to the square of its velocity, but also one which is proportional to the mass and to the height from which it has fallen, force thus conceived naturally divides itself into two very easily distinguished species, each of which requires a distinct technical name, for which the words *motion* (*Bewegung*) and *falling-force* (*Fallkraft*) seem to me the most appropriate” (p.512).

Estamos, então, perante duas ‘forças’ (‘movimento’ e ‘queda’) da mesma natureza. Para continuar o processo de conceptualização da noção de força há que procurar os elementos comuns a estas duas grandezas:

“Having now become acquainted with two species of force - motion and falling force - we can arrive at a conception of a ‘force’ in general, according to the well-known rule, by collecting together the common characteristics of the two species. To this end, we must consider the properties of these objects somewhat more closely. Their most important property depends on their mutual relation. Whenever a given quantity of falling force disappears, motion is produced; and by the expenditure of this latter, the falling force can be reproduced in its original amount” (p.514, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Mayer chega, assim, à propriedade mais importante das suas forças: a conexão (quantitativa) entre elas, ou seja a conservação:

“This constant proportion which exists between falling-force and motion, and is known in the higher mechanics under the name of ‘the principle of the conservation of *vis viva*’, may be shortly and fitly denoted by the term ‘transformation’ (*Umwandlung*). For instance, we may say that a planet, in passing from its aphelion to its perihelion, transforms a part of its falling force into motion, and, as it moves away from the sun again, changes a part of its

motion into falling force. In using the word 'transform' in this sense, nothing else can or is intended to be expressed but a constant numerical ratio" (p.514).

Sendo esta a caracterização da noção de 'força' de Mayer, em que jogam as duas vertentes essenciais, a fenomenológica (através da 'transformação') e a quantitativa (através das relações constantes entre as diferentes formas), perguntamo-nos se a noção de indestrutibilidade da 'força' terá sido completamente substituída pela ideia de conservação. É o que discutiremos a seguir.

Indestrutibilidade/Conservação

"Force and matter are indestructible objects" é uma expressão chave nos escritos de Mayer e continua a sê-lo neste artigo de 1851. A palavra conservação não é muito utilizada embora a ideia esteja presente na definição das relações quantitativas entre as diferentes formas. A Mayer interessa-lhe mais a palavra 'indestrutibilidade' pois com ela transporta a ideia da presença de um actor imaterial: a "força".

Para melhor entendermos o estatuto destas categorias recorramos à analogia com a matéria, analogia sempre presente no pensamento de Mayer:

"if we want to know what goes on during the phenomena of combustion we must weigh the substances before and after they are burned" (p.497).

Da mesma forma, terá de ser feito o balanço da 'forças' se queremos entender algo dos fenómenos físicos. Mas aí estamos perante um modo operatório muito próprio da ciência. Ora, para Mayer, a 'força' é um objecto da natureza e é isso que ele pensa relevar colocando a tónica na sua indestrutibilidade. Ou seja, o seu conceito de força está muito para além de uma ideia de balanço, embora este seja crucial para o tratamento científico deste conceito. A sua 'força' é real e a ciência permitiu dar visibilidade a algo que não era visível para todos. Como escreve Heimann (1976):

"Mayer's statement of the indestructibility of forces in terms of the law of causality exemplifies Meyerson's thesis that the quantitative equality of causes and effects implies their ontological status as substantial entities" (p.287).

Mach na sua obra *Principles of Theory of Heat* fala da necessidade intensa de Mayer de uma concepção substancial de energia (p.231), embora Mach não lhe dê qualquer estatuto metafísico.

A lei “força e matéria são objectos indestrutíveis” constitui aquilo que Mayer designa por “heliocentric stand-point”:

“this law, to which individual facts may most simply be referred, and which therefore I might figuratively call the *heliocentric stand-point*, constitutes a natural basis for physics, chemistry, physiology and philosophy” (p.512, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta forma bonita de se exprimir está carregada de significação. Para além de traduzir a ideia de que o conhecimento ilumina, também transporta consigo a ideia de que corresponde a uma mudança na visão do “mundo”.

Neste artigo, Mayer pretende mostrar que o que está em jogo é de facto, uma mudança na visão do mundo físico. O estatuto que dá ao estabelecimento do equivalente mecânico do calor é o de um passo inevitável, no contacto com o mundo fenomenológico, que dá consistência a essa nova visão e que permite resolver muitos problemas que até aí não tinham solução, como é o caso do efeito térmico da queda de meteoritos.

Com a definição:

“*Forces are transformable, indestructible, and (in contradistinction from matter) imponderable objects*” (p.514)

Mayer pretende incluir aí todo o universo e, nomeadamente:

“it is easy to see that this definition embraces, among other things, the fact that the motion which disappears in mechanical processes of different kinds bears a constant relation to the heat thereby produced, or that motion is convertible, as an indestructible magnitude, into heat. Thus heat is, like motion, a force; and motion, like heat, an imponderable” (p.514).

Mas qual a natureza desta ‘força’ designada por calor?

A esta questão Mayer responde:

“I have characterized the relation which various forces bear to one another by saying that they are ‘different forms under which one and the same object makes its appearance’. At the same time I have expressly guarded myself from making the certainly plausible, but unproved and, as it seems to me, hazardous deduction that thermal phenomena are to be regarded as merely phenomena of motion” (p.515).

Vimos, assim, como Mayer continua a dar um valor central à ideia de indestrutibilidade da ‘força’, associando-a a uma ideia de transformação. Embora o artigo tenha um título que remete para o equivalente mecânico do calor, é a noção geral de ‘força’ que continua a interessar Mayer.

A natureza do ‘calor’

Mayer aproveita a ocasião para discutir algumas das ideias sobre a natureza do “calor”, concretamente a existência dos átomos.

Embora ele não utilize a palavra trabalho, esta noção está presente (nomeadamente na conservação da *vis viva*) como algo de adquirido não suscitando questões.

É o “calor” que lhe põe alguns problemas, nomeadamente, no que diz respeito às duas atitudes, aparentemente contraditórias, de utilização da palavra átomo na “linguagem” química e a sua rejeição na “linguagem” física.

Vejamos como ele introduz a questão do “calor”:

“The form of force denoted by the name ‘heat’ is plainly not single, but includes several distinct, though mutually equivalent, objects, three principal forms of which are distinguished in common language: namely, I.Radiant Heat; II.Free (sensible) Heat, Specific Heat; and III.Latent Heat” (p.515).

A discussão da natureza do “calor” passa, assim, pela discussão destas três formas de “calor”. Sobre o “Calor Radiante” escreve:

“There can be no doubt that radiant heat must be regarded as a phenomenon of motion, especially since the recent detection of phenomena of interference in the radiation of heat. But whether there really exists, as is commonly assumed, a peculiar aether, of which the vibratory motion is perceived by us as a radiant heat, or whether the seat of this motion is

the particles of material bodies, is a question that is not yet made out” (p.515, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Quanto ao “Calor Sensível” escreve:

“Still greater obscurity hangs about the essential nature of specific heat, or what goes on in the interior of a heated body. Not only does the unanswered question of the aether enter again here, but, before we can be in a position to form any clear ideas on this subject, we require to have an exact knowledge of the internal constitution of matter. We are, however, still far from having reached this point; for, in particular, we do not know whether such things as atoms exist – that is, whether matter consists of such constituents as undergo no further change of form in chemical processes” (p.515-516, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Aqui, Mayer aproveita para introduzir algumas reflexões sobre a natureza da ciência. A imagem que ele utiliza pode ser interpretada com base numa ideia de Deleuze e Guattari, como veremos.

Mayer escreve:

“But a span of that time which stretches both backwards and forwards into eternity is meted out to man here on earth, and the space which his foot can tread is narrowly bounded above and below: so also his scientific knowledge finds natural limits in the direction of the infinitely small as well as of the infinitely great” (p.516).

Ao evocar os limites do conhecimento humano, Mayer situa-o, no entanto, numa linha que evolui para o infinito. Quase que poderíamos utilizar as palavras de Deleuze e Guattari (1991): “La science au contraire renonce à l’infini pour gagner la référence” (p.186)⁴.

A discussão de Mayer sobre os átomos continua:

“The question of atoms seems to me to lead beyond these limits, and hence I consider it unpractical. An atom in itself can no more become an object of our investigation than a differential, notwithstanding that the *ratio* which such immensely small auxiliary

⁴ Esta pequena frase está integrada num parágrafo em que é dito em relação à filosofia e à arte, as outras duas formas de pensamento a juntar à ciência: “La philosophie veut sauver l’infini en lui donnant de la consistance (...). L’art veut créer du fini qui redonne l’infini” (p.186).

magnitudes bear to one another may be represented by concrete numbers. In every case, however, the conception of an atom must be regarded as merely relative, and must be considered in connexion with some definite process; for, as is well known, the particles of an acid and base may play the part of atoms in the formation and decomposition of a salt, while in another process these atoms may themselves undergo further division.

But assuming that, in a chemical sense, atoms have a real existence – an assumption which, among other things, the laws of isomorphism certainly render probable – the further question arises whether, by the continued division of matter, we can at last arrive at molecules which are atoms in relation to the *phenomena of heat*, such that heat cannot penetrate to their interior, and such that, when the whole mass is heated, they for their parts undergo no increase of bulk. But since we are unable to grapple with such preliminary questions as these, we are forced to confess that, whether the existence of an aether and of atoms be admitted or not, we are, so far as regards the nature of specific heat, in a state of ignorance” (p.516).

O “Calor Latente” parece ser a noção que coloca menos problemas:

“The expression ‘latent heat’ has reference to its correctly recognized property of indestructibility. In all cases in which thermometrically sensible specific heat disappears, it must be assumed that it eludes our perception only by taking on some other state of existence, and that by an appropriate process of inverse transformation the free heat can be reproduced in its original amount” (p.516).

E acrescenta, mais adiante:

“The conception of latent heat is accordingly nothing else than the conception of something equivalent to free heat, and thus the doctrine of free and specific heat embraces pretty nearly the whole domain of physics” (p.516).

Ou seja, o “calor latente” pode ser tudo: quando o “calor sensível” desaparece outras “forças” aparecerão que representam o “calor latente” relativamente ao “calor sensível” inicial. Vemos, assim, como a noção de Mayer de “calor latente” é bastante alargada (bastante diferente da noção de “calor latente” em Joule), assente na ideia de indestrutibilidade das “forças”.

A expressão “calor latente” será, mais tarde, eliminada por Clausius.

Algumas Considerações Finais

Se comparamos este texto de divulgação com o texto de Helmholtz, também de divulgação, de 1862 sobre a conservação da “força” poderemos ter uma percepção de uma diferença essencial: uma cosmologia do “trabalho” (Helmholtz) versus uma cosmologia do “calor” (Mayer).

A ideia que maior relevo nos merece, na exploração deste texto, é a de “aprender a conhecer os fenómenos”. Todo o nosso esforço foi no sentido de trabalhar a significação pedagógica desta expressão. Ao fazê-lo emergiram questões sobre o desenvolvimento conceptual e sobre a natureza do conhecimento científico.

Mayer exhibe neste artigo as duas dimensões essenciais para uma pedagogia estimulante: a atenção dada aos exemplos correntes; o desenvolvimento de perplexidades. A concentração numa única destas dimensões carece de substância pedagógica no quadro que construímos. Com efeito, os exemplos correntes sem perplexidades são desinteressantes e estão longe das “flying classroom”; as perplexidades sem ligações a exemplos correntes situam-se muitas vezes, longe da “zona de desenvolvimento próximo”, tornando-se desinteressantes por serem incompreensíveis. Ou seja, Mayer tem a arte, como vimos, de abordar fenómenos correntes de uma forma imaginativa, provocando perplexidades interessantes, ou seja alimentando a “flying classroom”. Por tudo isto, poderemos continuar a afirmar que o pensamento de Mayer é um “objecto” pedagogicamente importante.

Expressões-chave deste texto:

- “learning to know the phenomena”
- “heliocentric-stand point of view”
- “connexion between expenditure and performance”
- “indestructibility”.

Capítulo 5

**A Energia em Joule: uma medida, uma
estética**

5.1 A vida em Manchester

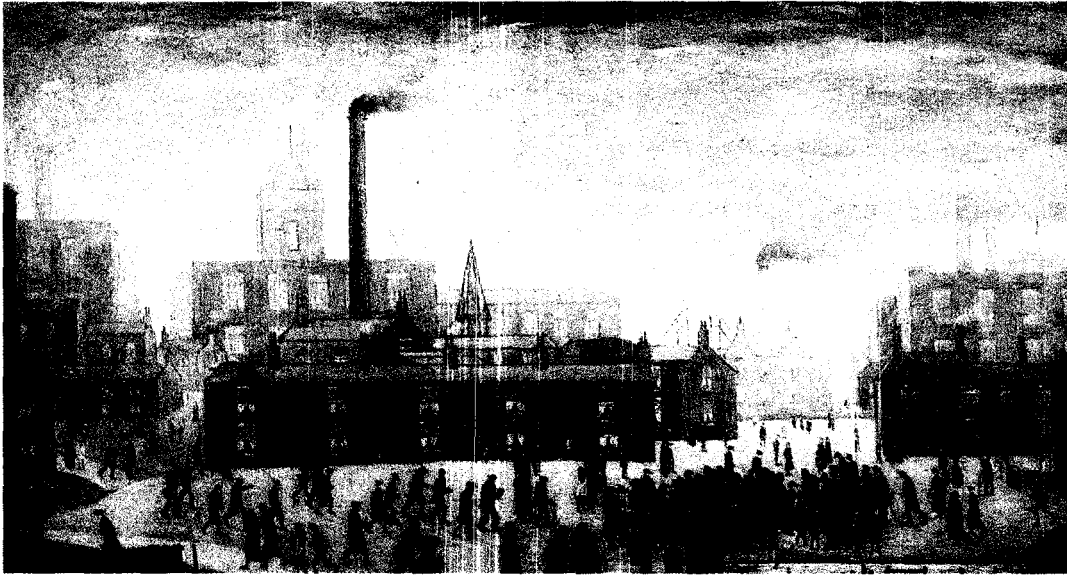


Figura 5.1 *An Accident*, L.S.Lowry, 1926, p.27.

Alguns dados biográficos sobre Joule

"[Manchester] was a different place to different people. To the fastidious it was a barbarous manufacturing town with nothing to commend it; to the tenderhearted it was a place with terrible social problems arising from precipitate growth; to the practical, the energetic, the scientifically minded it was a uniquely interesting town where there were outstanding opportunities and where unprecedented changes were taking place. People looked at things, and did things, differently in Manchester" (Cardwell, 1989, p.12).

Contrariamente a Mayer, Joule cresce numa região pioneira na industrialização. Com efeito, Joule (1818-1889) nasce e vive junto à cidade de Manchester¹ numa época de grandes transformações técnicas e sociais, tão bem caracterizadas por Cardwell no texto em epígrafe. Manchester, cidade de contradições, vai estar no cerne de certas mudanças na visão do mundo.

¹ O pintor Lowry também nasce e vive nesta zona, autor do quadro reproduzido no início deste ponto. Embora nasça nos finais do século dezanove tem em comum com Joule o espaço que habitaram – Salford. O museu de Lowry em Salford é exactamente ao lado da casa de Joule, hoje também museu.

Friedrich Engels habita Manchester em 1842², na sequência da decisão de ir trabalhar para uma das fábricas da família, aí sediada, ligada à indústria do algodão. Tem, então, 22 anos. É aí que nasce todo um pensamento precioso, alimentado pela sua visão de Manchester, que, como escreve Cardwell: “helped to change the course of history” (Cardwell, 1989, p.4.). É um protagonista fundamental na produção de uma nova visão do mundo social. Joule, por sua vez, será um dos protagonistas de uma nova visão do mundo físico: o equivalente mecânico do calor está no cerne desta nova visão.

As contradições que a vida em Manchester suscitava estão patentes na história que Cardwell nos conta:

“Friedrich Engels related how it was his custom to walk to his office every morning in the company of a fellow bourgeois merchant. Usually they talked about business, Manchester affairs and, sometimes, trivia until they reached the place where their paths diverged. One morning, moved by strong feelings, Engels showed his true colours. All the way he denounced capitalism and everything that Manchester stood for until they reached the parting of their ways. His companion, who had remained silent, raised his hat in the usual way and remarked: ‘And yet, Sir, there is a great deal of money made here’” (p.108).

A sobrevalorização do dinheiro, com a insensibilidade que lhe é inerente, coexiste com a valorização dos dramas sociais³.

Joule (1818-1889) nasce numa família cujo prestígio lhe vem do sucesso na indústria da cerveja. Como escreve Cardwell:

"The Joule family, then, can be taken as fairly typical of many who were attracted to Manchester by the opportunities it offered, who worked hard and prospered, who had their share of family tragedies and who helped to form the city that enabled them to make fortune" (1989, p.10).

² Para mais informações sobre alguns dados biográficos de Engels ver “Engels”, de Helmut Hirsh, Rowohlt, 1993.

³ De acordo com a biografia de Engels, anteriormente referida, a família Engels manifestou sempre uma certa sensibilidade aos problemas dos trabalhadores. Sendo grandes industriais promoveram algumas melhorias nas condições de vida dos seus trabalhadores.

A família muda-se, pouco antes de 1823, para uma casa, "Broom Hill", numa localidade onde o ar era mais limpo. A esta decisão não terá sido alheio o facto de James Joule ser uma criança débil de saúde. Como afirma Cardwell:

"He had a spinal weakness, the effect of which was to make him a hunchback although, to judge from photographs taken in later life, it was not a conspicuous deformity. For treatment he was taken to Todmorden where the Taylors brothers had one of their surgeries. The Taylors belonged to a remarkable family of unqualified bonesetters and surgeons - practical craftsmen of medicine - who had begun as horse doctors but whose patients eventually included royalty. It seems that they had some success for James enjoyed a normal, healthy youth, although he was under treatment by the Taylors up to his twentieth. But it is also possible that the minor deformity, which certainly persisted, had an effect on the development of his personality, making him unassertive and shy in company. He was said, fond of sketching and reading, particularly books of travel" (p.13).

Esta transcrição para além de nos dar já alguns traços da personalidade de Joule dá-nos também algum sinal dos tempos na Grã-Bretanha: o valor dos saberes práticos.

James Joule não frequentou a escola, assim como o seu irmão Benjamin. A sua educação foi assegurada por tutores, especialmente contratados para o efeito. Mais tarde a educação científica, por decisão paterna, será assegurada por Dalton (entre 1834 e 1837). Como afirma Crowther (1962):

"when Joule's father decided to send Joule and his brother to John Dalton for lessons in chemistry twice a week, he probably thought more of providing his sons with scientific knowledge of industrial value, than of educating their spirits through the study of science" (p.134).

Dalton privilegiava no seu ensino o estudo da aritmética e da geometria e terá tido uma grande influência sobre o espírito de James:

"Whatever brought about the diffusion of a taste for geometry, and whatever the ultimate effect, there can be no doubt that Dalton strongly influenced Joule's scientific method, his acceptance of certain key concepts and, lastly, his personal commitment to science. 'Dalton', Joule wrote later, 'possessed a rare power of engaging the affections of his pupils

for scientific truth; it was from this instruction that I first formed a desire to increase my knowledge by original research” (Cardwell, p.15).

De acordo com Crowther será possível afirmar que:

“Dalton communicated or strengthened in Joule intellectual attitudes of imperishable value. Dalton had established the atomic theory of chemistry by introducing systematic measurement and quantitative comparison into the investigation of the chemically equivalent weights of elementary substances, and abiding by the implications of measurements. As Osborne Reynolds has remarked, the chief distinction between Dalton and Joule and their early contemporaries was the same, namely, the substitution of quantitative measurement for phenomenal experiments” (p. 135).

Esta influência de Dalton poderá explicar algumas das diferenças essenciais entre Joule e Mayer e, nomeadamente, no que diz respeito à interpretação do calor. Enquanto este último não especulou sobre a natureza do “calor”, disso não sentindo qualquer necessidade, Joule vai interpretar o “calor” sensível como a *vis viva* dos átomos, numa altura em que os átomos ainda não existiam no campo da filosofia natural. Sendo estas duas personalidades muito diferentes e vivendo em locais muito diferentes há alguns paralelismos interessantes no que diz respeito ao desenvolvimento das suas ideias.

O interesse de Joule pelos fenómenos naturais e artificiais (técnicos) manifesta-se desde muito cedo, como nos conta Cardwell:

“It was during this time, when James was eleven, that the brothers went down, one Saturday afternoon, to a field near Eccles, not far from home, to watch the first trains running on the Liverpool and Manchester Railway. This was an experience that would endure in the memory, quite possibly to influence the course and form of future thoughts. The steam-engines of the eighteenth century, revolutionary they were, made little impact on the wider public consciousness; they were mostly hidden away in engine-houses in remote parts of the country, in west Cornwall, in the North-East coalfield, in the Midland coalfield where the first one had been built in 1712. But as Osborne Reynolds was to point out, the rapid spread of the railway network after 1830 brought the power, the efficiency, and the mode of working of the steam-engine to the attention of all and the understanding of many. The Joule brothers were witnesses from the beginning. The ponderous old engine in the

brewery could be taken for granted; the shining modern locomotives were something new”

(p.14, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Os interesses do jovem Joule não se esgotavam todos na observação e experimentação científicas. Os seus interesses incluíam, também, a fotografia e a pintura, campos onde desenvolveu algumas capacidades (Crowther, p.141). É interessante constatar como o “visível” é abordado por Joule com instrumentos tão diversificados, como o são a pintura, a fotografia, a ciência.

Esta visibilidade do “poder” das máquinas a vapor é bem exposta por Edgar Savenes quando este escreve na Revista “O Instituto”, 1866, (revista da Universidade de Coimbra), já depois do desenvolvimento da ideia do equivalente mecânico do calor:

“São as máquinas a vapor que todos os dias nos fazem ver o espectáculo do trabalho creado pelo calor” (p.12).

Joule deixa-se fascinar pelos comboios, Mayer, também, como vimos, apesar de pertencerem a mundos tão diferentes:

“The locomotive is obtrusive; it will be seen: and by 1842 locomotives had obtruded themselves pretty well all over Europe. They immediately took their places as objects of as much wonder and interest to the grown people who saw them for the first time as they are still to the young; demanding the attention even of philosophers who had previously studied nothing than the planets” (Reynolds, citado por Crowther, p.148).

A invasão da paisagem pela máquina a vapor vai ter efeitos importantes sobre todos aqueles que têm uma ligação especial com o visível, nomeadamente os cientistas, os pintores e os escritores. O fascínio de Joule é de natureza intelectual, mais tarde, depois de ter vivido um acidente de comboio, Joule evitará viajar de comboio, como nos conta Crowther:

“In 1858 he was travelling in a train from London to Manchester which was derailed near Nuneaton by a cow that had strayed on to the line. Though three persons were killed, Joule was astonished to see ‘the engine men eating their dinner with as much sang-froid as though nothing had happened, while the passengers were in a state of the utmost terror. An officer in charge of soldiers was so much excited, that he was brandishing his sword in an adjacent field’.

Joule was reading a mathematical book at the moment of the accident. His carriage turned over, and he crawled out. The book was covered with pulverized glass.

He became very nervous of railway travelling, and declined to be nominated again as a member of the Council of the Royal Society, as he wished to avoid travelling to London frequently” (p.189).

Apesar de serem um produto dos engenheiros as máquinas a vapor, a partir do princípio do século dezanove, não podem continuar a ser ignoradas pelos filósofos naturais, no contexto da Grã-Bretanha. A este respeito escreve Cardwell:

“By the beginning of the nineteenth century the steam-engine was so important that the gap, in Britain, between the engineer’s measures, on the one hand, and the natural philosopher’s concepts on the other, was increasingly unacceptable. In 1813 Peter Ewart, an engineer trained under James Watt, published in the *Manchester Memoirs* a long paper, urging the natural philosophers to accept the concepts of work and *vis viva*” (p.21).

Com efeito:

“any theoretical study of the heat engine was inhibited in Britain by a strong prejudice on the part of mathematicians and natural philosophers. *Vis viva* did not have the approval of Sir Isaac Newton. Moreover, it was advocated by foreigners. Moreover, it was avocated by foreigners, so it was doubly unacceptable” (p.20).

O fascínio que estas máquinas provocavam, pela novidade e pelo seu “poder” de movimento, traduzir-se-á pelo desenvolvimento de um interesse teórico, do que Sadi Carnot é um bom exemplo.

Joule, desde cedo, manifesta um interesse intelectual pelos fenómenos naturais. Como nos conta Cardwell:

“Early on we find the brothers watching a thunderstorm from ‘Broom Hill’ and later discussing it with Dalton. They witnessed the aurora borealis - a phenomenon that always fascinated Dalton - from the Lake District” (p.16).

As suas qualidades de experimentalista desenvolvem-se durante os anos de convivência científica com Dalton e continuarão, depois, a evoluir e a refinar-se. O seu campo preferido de estudo (ou de entretenimento, como sugere Cardwell) começou por ser o domínio das experiências com electricidade, o que reflecte o ar dos tempos, pois com Faraday desenvolve-se toda uma “euforia eléctrica”. Daí o primeiro interesse científico de Joule: motores eléctricos. Veremos, mais adiante, qual a sequência lógica que o levará desse interesse às questões do desenvolvimento da noção de equivalente mecânico do calor. A medida, cada vez mais exacta, deste equivalente será o grande objectivo de toda a sua carreira científica.

Em 1839 tenta-se, sob a orientação de Sturgeon criar (o que virá, efectivamente, a acontecer em 1840⁴) uma imitação da Royal Victoria Gallery, em Londres, “for the Encouragement and Illustration of Practical Science” (Cardwell, p.27). Os objectivos desta associação eram:

“to illustrate the progress made in industry and practical science, to present demonstrations and, in particular, to arouse the interest of young people” (id., p.28).

Embora, esta instituição não tenha sobrevivido muito tempo⁵ desempenhou um papel importante na vida científica de Joule. Com efeito:

“Joule had reason to be grateful to the Gallery as well as to the ⁶*Annals*; the former for giving him a platform for the first of the few public lectures he was to give, the latter for giving him a prize (1841) for his scientific communications: his first public recognition” (Cardwell, p.28).

O financiamento das experiências de Joule era assegurado pela família, que usufruía de uma excelente posição financeira. Contudo, na fase final da sua vida Joule confrontar-se-á com graves problemas económicos:

“About the year 1875 he had began a long Verification of the Mechanical Equivalent of Heat, for the British Association. He was unable to continue this repetition of his measurements at his own expence, as the value of his investments had declined and he became poor. The Royal Society Accordingly granted him £200 for the expenses of the

⁴ O seu equipamento inicial era constituído por uma grande máquina eléctrica, um electromagnete e alguns pequenos aparelhos.

⁵ Ver a explicação deste facto Cardwell. 1989. p.28.

investigation. The results of this work form the content of his last published paper, which appeared in the *Philosophical Transactions of the Royal Society* in 1878.

In the same year his poverty was relieved by the grant of a pension of £200 per annum by the Government” (Crowther, p.196).

Tal como Mayer, Joule dedicou toda a sua vida a um único problema, sendo este de natureza substancialmente diferente do problema de Mayer. A este respeito escreve Crowther:

“Joule’s immense genius was of the sort adopted to the solution of one supreme problem. Its perfection made it the perfect instrument for the solution of the one supreme problem suited to its style. It could operate perfectly or not at all. This is the explanation of his devotion to one problem. His genius rejected problems beneath and unsuited to it. He had a profound sense of the aesthetic of science. The quality of his work resembles that of Leonardo da Vinci. There is a psychological similarity in their pursuit of perfection. Both returned to the same subjects and continued the refinement of technique, subtle thoughts following the solitary contemplation of the results of their accessions of manual skill” (p.196-197, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Este sentido estético da ciência está, portanto, profundamente ligado à perfeição da medida. Podemos, assim, compreender todo o investimento de Joule na determinação do equivalente mecânico do calor. Mas, o seu sentido estético não se esgota na medida, quando Joule, na conferência de 1847, passa das situações experimentais para a natureza na sua totalidade, sentimos a sua ligação emotiva ao princípio de conservação da “força”.

Mais tarde (1873), Joule escreverá:

“It is evident that an acquaintance with natural laws means no less than an acquaintance with the mind of god” (citado por Crowther, p.139).

Esta frase evidencia a carga espiritual com que Joule vive a sua entrega à ciência.

O desenvolvimento do pensamento de Joule poderá ter um valor didáctico importante se se conseguir mostrar a genialidade que há em:

⁶ Esta revista foi criada em 1836 e dava prioridade aos acontecimentos científicos no âmbito do estudo da electricidade. Cobre e traduz a fase da “electrical euphoria”.

“to judge the probability of the exactness of his experiments without knowing the law of the conservation of energy. He could not reinforce the findings of his hands and eyes by the intellectual suggestions of a law unknown to him” (Crowther, p.180, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Crowther faz o elogio de um Joule genial e pergunta-se porque é que os estudantes o encaram de uma forma tão pouco interessante. Nesse sentido escreve:

“The apparent inexplicable boredom with which so many students approach the brilliant researches of Mayer and Joule is partly due to the blight which has infected culture since the heat-engine was harnessed to the pursuit of private wealth instead of social improvement” (p.132).

Crowther avança com a ideia de que se Joule tivesse vivido num contexto diferente do que aquele com que Manchester o “contaminava” (que Crowther caracteriza utilizando as expressões: “the cultural barbarity of his environment”, “the uncivilized darkness with which he was surrounded”) as suas ideias poderiam ter sido encaradas de forma mais estimulante.

Estas explicações talvez estejam excessivamente datadas mas levantam um problema que continua a ser válido hoje no que diz respeito à imagem de Joule (de Mayer a maioria dos estudantes não ouviu falar): alguém “excessivamente” ligado à técnica.

Cardwell atribui a George Sarton a responsabilidade da criação do “mito” de Joule como um metrologista. E Cardwell acrescenta:

“Joule was not a metrologist nor was his main interest in exact measurement. But Sarton was doing no more than repeating a view that was common at the time and that has persisted in some quarters to the present day. In fact Joule as a highly original man of science and, undeniably, a bridge figure” (p.viii, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

No item seguinte discutiremos o significado e a importância de uma “bridge figure”.

5.2 Uma personalidade científica de charneira na Grã-Bretanha

"[Joule] could fairly be called a bridge figure, linking the old with the new".

(Cardwell, 1989, p.viii).

A situação financeira de Joule proporcionou-lhe uma total independência intelectual. Daí a liberdade de Joule, podendo interessar-se por problemas que a filosofia natural não privilegiava. Se este aspecto foi benéfico para o desenvolvimento do seu pensamento, já o não foi no que diz respeito à aceitação das suas ideias pela comunidade científica. Para isso vai precisar do patrocínio de alguém com reconhecimento na comunidade dos filósofos naturais. Esse alguém será William Thomson, como veremos.

Mas a sua independência intelectual não é apenas o resultado de uma boa situação financeira, ela traduz uma certa cultura local. A este respeito escreve Crowther:

"Joule's first papers reveal a remarkable independence for a young man in his early twenties. This may have owed something to an environment that encouraged individual initiative but that lacked authoritative scientific personalities (Dalton was a possible exception) of the sort to be found in universities or colleges. The clarity and penetration of his mind owed nothing to outside circumstances" (p.46, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

A organização da actividade científica sofrerá uma importante revolução, na Grã-Bretanha, ao longo da vida de Joule. A vida científica deste, de acordo com Cardwell, representa a passagem do "velho" para o "novo":

"When he was a young man, carrying out his first researches, science in Britain was still substantially an affair of the gentlemen devotee. The appeal that led to the formation of the British Association (BA) was addressed to the 'cultivators of science'. (...)

By the end of Joule's life science as a social institution had changed in Britain to such an extent that he could fairly be called a bridge figure, linking the old with the new. Science degrees had been instituted; new colleges and universities with science faculties and

laboratories had been established; the gentleman devotee was being replaced by the professional scientist (although by 1914 there were notably fewer professional scientists in Britain than in Germany). (...).

(...)

In the last hundred years the social revolution in science that began in Joule's lifetime has been completed; the gentleman devotee has disappeared and the affluent world enjoys the benefits of applied professional science on a scale that Joule and his contemporaries could hardly have imagined. Over the same period the energy principle, of which he was a leading pioneer, has had a dominant role in physical science" (Cardwell, 1989, p.viii-ix).

Mas, Joule é, também, uma figura de charneira no que diz respeito ao domínio do newtonianismo. Com efeito, Joule vai trazer para a ribalta a *vis viva* de Leibniz, noção menos benquista pelos britânicos. Esta libertação de um certo totalitarismo vai ser fundamental para os novos desenvolvimentos da Física, nomeadamente para a Física do séc.XX.

Joule é ainda uma personalidade de charneira na contaminação dos problemas científicos por problemas técnicos. A ciência experimental está em franco desenvolvimento. A British Association promove reuniões em cidades servidas por barcos, quando a linha de comboio ainda não está suficientemente desenvolvida, para que possam ser transportados os equipamentos necessários às apresentações das novas experiências que proliferam por todo o lado. Joule participa nestas reuniões desde muito cedo, alimentando, assim, a sua cultura científica. Nas reuniões de 1843, 1844 e 1845 Joule apresenta o seu trabalho e as suas ideias, no que diz respeito ao desenvolvimento do seu interesse pela origem e pelos efeitos do calor, interesse que o levou à descoberta de uma constante universal.

Estas intervenções deixaram a comunidade científica indiferente: "men of science were thinking of other things and Joule's papers aroused little interest" (p.76).

É na reunião da British Association, que decorreu em Oxford, em 1847, que Joule tem o primeiro contacto com William Thomson. Este manifesta grande interesse pelas ideias de Joule, embora não as aceite inicialmente, uma vez que estas lhe parecem contradizer o pensamento de Carnot, tão importante para Thomson. É o princípio de uma relação que promoverá o reconhecimento de Joule na comunidade científica. Os trabalhos de Thomson seguirão o rumo da reconciliação das ideias de Joule e do pensamento de Carnot.

Os doze meses que se seguem à conferência de Oxford "brought Joule an agreeable increase in public recognition" (Cardwell, p.95).

O ano de 1847 é um ano muito importante na vida de Joule. Para além do encontro com William Thomson, foi o ano da célebre conferência de Joule na escola da igreja de St. Ann, para o grande público:

“it was in the library, or reading-room, of the school that Joule gave a comprehensive and, what would now be called, popular account of his work and ideas” (Cardwell, p.79).

Esta conferência será publicada no jornal *Manchester Courier*. Trata-se de um texto muito interessante, a que dedicaremos uma atenção especial.

1847 é, também, o ano do casamento de Joule.

A colaboração de Joule com Thomson vai ser inovadora, no que diz respeito à forma de produção de conhecimento, durante os dez anos de colaboração (1852-1862) destas duas personalidades complementares. Mais uma vez Joule ocupa uma posição de charneira:

“If the joint paper was, at that time, a rare invent in British physics, a series of joint papers was wholly without precedent. Even in European physics there had been nothing like it. The accurate determination of physical constants was one thing; systematic and continued research into the unknown by two men of complementary abilities was different, and quite new. The publication of what were to be eight joint papers by Joule and Thomson can be taken as one indication that physics was beginning to achieve the rank and status of an autonomous discipline in both intellectual and social or organisational terms” (Cardwell, p.157).

E, mais adiante, Cardwell escreve:

“the joint researches with Thomson form as good and as complete an example of the pursuit and practice of physics as can be found. They marked a new departure in physics; a collaboration, sustained over a long period, by an experimentalist and a theoretician” (p.191).

Joule com o seu estilo próprio, muito diferente do de Mayer (ou como escreve Crowther, com um estilo complementar do de Mayer) vai-nos permitir colocar em evidência algumas qualidades que alimentarão activamente uma possível discussão sobre a construção do conhecimento científico. Esta, no contexto da formação de professores, deverá ter lugar a

partir da diversidade dos casos concretos, evitando, assim, a fixação em estereótipos. Com o pensamento de Joule tentaremos fazer ressaltar atributos como: independência e clareza intelectual; “theoretical insight” na significância do trabalho experimental; a substituição da experimentação fenomenológica por relações quantitativas (Crowther, p.135).

5.3 Problemas com interesse para Joule. O caso da emergência da equivalência mecânica do calor

O ar dos tempos: a vivência de uma euforia em torno dos fenómenos eléctricos

Joule cresce numa época de “electrical euphoria”, como já foi referido. Por outro lado, a ligação da sua família à indústria explica o seu interesse inicial por um problema técnico: a melhoria da eficiência do motor eléctrico. Como escreve Cardwell:

“The authority and the prestige of Michael Faraday had placed electricity at the centre of scientific interest. (...) The old dream of a perpetual motion machine was on the point of being transcended by rational, nineteenth-century science” (p.24).

Joule entusiasma-se por esta ideia de aproximação de uma espécie de movimento perpétuo através do motor eléctrico. Com efeito, ele escreve:

“I can hardly doubt that electro-magnetism will ultimately be substituted for steam to propel machinery. If the power of the engine is in proportion to the attractive force of the magnets, and this attraction is as the square of the electric force, the economy will be in the direct ratio of the quantity of electricity, and the cost of working the engine may be reduced ad infinitum” (p.31-32, citado por Cardwell).

Através da investigação subsequentemente desenvolvida Joule mostrará quão quiméricas eram estas ideias.

Joule começa, então, por se interessar por problemas práticos. Como escreve Cardwell:

“Joule spent no time pondering the nature of electricity, or indeed on any other speculation. His procedure was that of the engineer, rather than the man of science” (p.34).

Embora o procedimento de Joule, nesta fase, possa ser caracterizado como o de um engenheiro, o seu interesse pelo motor eléctrico não é um problema que esteja a atrair as

atenções dos engenheiros. Estes continuam a melhorar os motores térmicos que se tornam cada vez mais potentes, mais económicos e mais versáteis (Cardwell, p.29). Assim:

“The perfection of the electric motor was left to the marginal men of technology; to educated amateurs who might be physicians or surgeons, clergymen, lawyers or teachers, bankers or businessmen” (id., p.29).

O que é interessante é acompanhar esta passagem de um Joule quase-engenheiro para um Joule-cientista. Esta passagem acontece pela natural curiosidade de Joule; pela sua completa independência intelectual; pela evolução das suas investigações e pelo desenvolvimento da sua cultura científica.

Os atractivos do motor eléctrico não eram apenas económicos (embora fosse este a prevalecer):

“Since Watt’s time engineers had tried without success to develop a directly rotative steam engine. The electric motor was a directly rotative engine; its construction presented no great problems; it was virtually silent in operation, required no bulky components such as boilers, needed no great heaps of coal and, a notable advantage, was completely clean: no smoke, no ashes and grime” (Cardwell, p.24).

Para além do entusiasmo em torno dos trabalhos de Faraday, Cardwell justifica um maior interesse no estudo da electricidade do que no estudo do “calor” pelo facto do desenvolvimento do primeiro ser bastante mais harmonioso e coerente do que o segundo. Com efeito, Carnot e Fourier representam duas abordagens ao estudo do “calor” muito diferentes. Se a Fourier apenas interessavam os fenómenos que começavam e acabavam em “calor”, a Carnot interessavam os fenómenos onde havia produção de trabalho quando o “calor” fluía de uma fonte quente para uma fonte fria. Fourier negava qualquer ligação entre o “calor” e a mecânica, nomeadamente a mecânica dos engenheiros. O seu livro *Analytical Theory of Heat* (1822):

“was a work characterised by elegant mathematics, clear argument and complete self-confidence. Fourier clarified the concepts of specific heat and conductivity, introduced the idea of boundary conditions and, with his powerful mathematics, was able to claim that he

had completed the science of heat. 'Tell me', he said in effect, 'the thermal properties, state and form of a body and I can predict its thermal state at any time in the future'" (id., p.19).

Apesar da posição de Fourier, foi vital, no desenvolvimento do estudo do calor, a utilização do trabalho dos engenheiros mecânicos. Este foi incorporado por Carnot na sua obra *Reflexões sobre o Poder Motor do Calor* que, como escreve Cardwell, é um trabalho muito diferente da quase contemporânea *Teoria Analítica do Calor*. É diferente nas suposições, na intenção e no estilo (Cardwell, p.19):

"Sadi Carnot set out to do for heat engines, such as the common steam-engine, what the hydraulic engineers and mathematicians had done for water power. That is, to establish the circumstances under which the flow of heat from a hot body, such as a furnace, to a cold body, such as a condenser, can be made to do the maximum possible work. His argument was basically simple. He compared the action of caloric in driving a heat engine to the action of water in driving an hydraulic engine such as a water-wheel. Engineers had proved that in order to get the most work out of a stream the driving agent, the water, must enter the engine without wasting any vis viva in shock or turbulence and must leave without wasting any vis viva in shock or turbulence and must leave without appreciable speed. All the vis viva would then be given up to the engine. Working like this, the engine would be the most efficient possible, for it could be made to drive a perfect pump that could restore all the water to the dam or mill-pond from which it had been drawn. A more efficient engine was impossible, for such a machine would enable more water to be pumped back than was required to drive it and this would imply 'perpetual motion', for the excess water could be used to drive a second engine that could work indefinitely without any depletion of external resources" (Cardwell, p.19-20).

O golpe de génio de Carnot está em aplicar este raciocínio a situações onde intervêm fenómenos tão diferentes como o calor e o movimento. Cardwell continua a descrição da estratégia de pensamento de Carnot:

"Applying an analogous argument to heat engines Carnot showed how, for maximum efficiency, the steam - or whatever 'working substance' was used - should be at the same temperature as the furnace (about 1,000°C) when it began to press on the piston and should, by expanding in the cylinder as it drove the piston down, fall to the same temperature as the condenser (about 15°C). Even to approximate to such ideal conditions

was far beyond the capacities of contemporary engineering. Largely for this reason Carnot's book was ignored by most of his contemporaries. This was regrettable, for his association of heat with work enabled him to make potentially fruitful contributions to the scientific study of heat" (p.20).

William Thomson será herdeiro destes dois contributos relativamente ao estudo do calor e eles estarão na base das suas duas facetas científicas correspondentes a dois entendimentos do que é a Física: construção de modelos meramente matemáticos a partir de dados experimentais; desenvolvimento de teorias com base em modelos físicos, onde a significação - que se traduz em hipóteses sobre a natureza e as causas do fenómeno - ocupa um lugar importante. Kelvin vive profundamente esta dualidade e o trabalho de Joule será determinante no que diz respeito à sua transformação como físico⁷. Ou seja, como diz C. Smith (1978), vamos assistir, no pensamento de William Thomson, a uma revolução "from abstract, reversible dynamics, to physical dynamics" (p.255). Como Crosbie Smith escreve:

"The subject of heat and thermodynamics, and especially his new commitment to the principle of energy conservation, thus led Thomson from the 'two dimensional' approach of 'mathematical theories' involving only visible process to the third dimension as it were, of insight into the unobservable, underlying physical nature of phenomena" (p.245).

Interessante esta caracterização da abordagem matemática, formal, como uma abordagem a duas dimensões, dando apenas conta da superfície das "coisas".

Esta ideia da transformação na visão do pensamento físico em Thomson é reforçada, mais tarde, por Crosbie Smith e Norton Wise (1989). Com efeito, escrevem:

"In thus committing himself to a dynamical theory of heat, Thomson violated the fundamental doctrine of his prior work, the stricture against physical hypotheses, which limited 'positive' mathematical theory to the development of experimentally established laws. As in his discussion of the dissipation axiom, he spoke of the dynamical theory in terms of belief, 'feeling convinced that the theory...is true'. And his conviction allowed him to argue, in spite of the lack of definitive evidence for conversion of heat to work, that

⁷Ver a este respeito o artigo de Crosbie Smith "A New Chart for British Natural Philosophy: The Development of Energy Physics in the Nineteenth Century", *Hist. Sci.*, xvi (1978), 231-279.

'the fact has only to be tried to be established experimentally'. The dynamical theory of heat, indeed, made a critical watershed in Thomson's career"⁸ (p.334).

O Interesse de Joule pelo "Calor"

Com esta incursão a Thomson afastámo-nos da nossa linha de pensamento. Foi necessário abrir um parêntesis para mostrar como o estudo do calor poderia ser menos atractivo que o estudo dos fenómenos eléctricos, numa época de "electrical euphoria". No entanto, esta falta de harmonia no estudo do calor irá, como vimos, ter efeitos revolucionários.

Estando Joule preocupado com a "economia" dos motores eléctricos (trabalho realizado dividido pela quantidade de "fuel" consumido no mesmo intervalo de tempo. No caso dos motores electromagnéticos a quantidade de "fuel" é a quantidade de zinco consumida no conjunto de pilhas voltaicas) chegaria necessariamente aos problemas de controlo da produção de calor nesses motores. Com efeito:

"one of the variables associated with a working electromagnetic engine is the appearance of heat. In all machines the appearance of heat due to friction had been recognised for many years as indicating wasted power; hence the long-established practice of using lubricants to reduce friction. The electrical heating of motors and associated circuits might well indicate another source of waste. Procedure dictated that this should be investigated even though the connection between this heat and a waste of power was obscure" (Cardwell, p.35, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

É na investigação da quantificação da produção de calor nos circuitos eléctricos que Cardwell reconhece a passagem de Joule de uma questão prática para uma certa curiosidade científica. Nesse sentido escreve:

⁸No artigo "William Thomson's Mathematical Route to Energy Conservation: a Case Study of the Role of Mathematics in Concept Formation" . Hist. Stud. 1979, vol.10, 49-83, Norton Wise parece defender a coexistência, desde o princípio, dos dois tipos de pensamento em Thomson. Nesse sentido escreve: From the beginning of his career Thomson was a natural philosopher steeped in mathematics. Mathematical expression and physical concept were even more than usually intertwined in his thinking; he was compelled to discover a physical significance for every term in his equation, as well as to find a mathematical form for each of his physical conceptions" (p.49).

“At the end of 1840 Joule sent a short paper to the Royal Society. It was rejected for the *Transactions* but a short abstract of it appeared in the *Proceedings* for December 1840. In it he stated that if an electric current is passed through a coil of wire the heat generated is proportional to the square of the current and the resistance of the wire. He claimed that the law held whatever the shape, size or form of the circuit or the type of wire used (J. F. Daniell had said that the heat due to an electric current depended on the kind of metal of which the wire was made). The abstract ended with the cryptic remark that the heat of combustion of zinc in oxygen was ‘likewise the consequence of resistance to electric conduction’. This final remark suggest that in addition to concern for practical improvement another motive was present: scientific curiosity” (p.35, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

É esta interpretação especulativa para a origem do calor na pilha que traduz, do ponto de vista de Cardwell, a passagem, em Joule, para um pensamento científico.

Esta segunda lei⁹ vem desencorajar definitivamente as esperanças de potência eléctrica barata:

“the heating of a circuit was, therefore, unavoidable and clearly implied a waste of zinc in the battery” (id., p.36).

Em 1841, Joule expõe, numa conferência pública na Royal Victoria Gallery, de uma forma muito concreta, a impossibilidade de fazer dos motores eléctricos motores mais económicos que os motores a vapor, cujo rendimento tinha sido, entretanto, muito melhorado (como era o caso do motor de Cornish). Ele anuncia nessa conferência:

“that by the consumption of a pound of zinc¹⁰ in his battery he was at most able to obtain but one-fifth of the work that the burning of a pound of coal produced in the best Cornish steam-engines. Even if future improvements, he said, should more nearly equalize the performances, the high cost of zinc as compared with that of coal would prevent the magnetic engine from ever becoming useful except for very special purposes. Thus, with

⁹ A primeira lei introduz já um elemento de decepção, pois um aumento da potência destes motores implica um aumento equivalente dos custos. A este respeito escreve Cardwell:

“His results showed that the power of the engine was proportional to the product of the current and the emf, or battery intensity. (...) The law implied that if, for example, the emf was doubled by doubling the number of cells twice the current would flow and four times as much work would be done. However, four times as much zinc would be consumed in the same time so that the duty would remain the same; no economy would have been made” (p.33, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

his own honest hand, he destroyed the idol of his youth, and perhaps saved many others from pursuing a similar chimera" (Mott-Smith, 1934, p.140, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Os resultados das experiências de Joule foram um golpe duro na "electrical euphoria". É nesta fase que se dá uma certa transformação em Joule: "As Fox has pointed out, Joule was, at this time, beginning to take on the role of natural philosopher" (Cardwell, p.38).

Com efeito, Joule sente uma necessidade de explicação dos fenómenos magnéticos, presentes nas suas experiências, e especula sobre a natureza destes fenómenos. A este respeito escreve Cardwell:

"While he speculated on the nature of magnetism, with ideas that looked forward to the dynamical theory of heat and the conservation of energy, and backwards to the eighteenth-century notions of subtle fluids and atmospheres, he continued with his practical work, although it was becoming less prominent. He wrote a short paper on voltaic batteries, but most important of all, he completed his work on the heat generated by an electric current. This work, published in the *Philosophical Magazine* {1841}, was far more comprehensive than the brief note in the *Proceedings* that did little more than lodge a claim for priority. This time he gave details of three sets of experiments in which an electric current passed successively through two different coils of copper wire, a coil of copper wire and a coil of iron wire, and lastly, a coil of copper wire and a column of mercury in a glass tube" (p.39).

Nestas experiências, Joule não está preocupado com as quantidades absolutas de calor, pretende, sim comparar os efeitos caloríficos da corrente em diferentes circuitos, para assim poder fixar os parâmetros de que estes efeitos dependem. Desta forma estabeleceu que:

"the heating effect of a current was proportional to the resistance, 'whatever the length, thickness, shape or kind of metallic conductor'. By varying the current flowing in a copper wire and noting the heating effect in each instance he showed that it varied as the square of the current. He said that he expected this result on the grounds that the resistance 'would be augmented' by the increased quantity of electricity flowing and its increased 'velocity'. The analogy with heat due to mechanical friction cannot have been far from his mind" (p.39).

¹⁰ A ideia de que a "fonte" do trabalho produzido nos motores electromagnéticos era a oxidação do zinco nas baterias desenvolveu-se no prosseguimento das suas experiências, por analogia com o consumo de carvão nas

A emergência das ideias de convertibilidade e de indestrutibilidade das "forças"

Joule está, nesta altura, mergulhado na problemática da produção de calor em diversas situações, nomeadamente, nos circuitos eléctricos, com origem nas pilhas voltaicas, ou numa máquina electromagnética. A natureza e a origem do calor começam a ser objecto das suas especulações. Com efeito:

“The source of the *heat* produced by the electric current, Joule saw, was the heat developed by the oxidation of the zinc. This heats first of all the battery (just as the coal heats the furnace in which it is burnt), but it heats the battery *less* when the current is flowing, than the same amount of zinc dissolved without generating a current. By measurements, Joule determined that the heat developed in the wires plus that produced in the battery, was equal to the heat produced by dissolving the zinc without generating a current. It was as though a part of the heat developed in the battery were transported by the current to the wires and there dissipated.

But an electric current can also be produced by revolving a spool of wire end over end between the poles of a magnet, that is, by a magneto-electric machine - the forerunner of the modern dynamo. A current so generated, Joule found, developed exactly the same amount of heat in the wires as an equal current from a battery. If then the heat is simply transported by the current from its source to the wires, the spool should be correspondingly cooled - for no new heat is generated there. But Joule found that the wires of the spool were also heated by the current traversing them, and to the same extent as by an equal current led to them from a battery. In short, the whole circuit was heated. This heat must therefore be *new* heat, *created* by the current, and not simply transported by it from one place to another.

To make sure of this conclusion, Joule immersed the whole apparatus in a water bath, which served both to insulate it thermally from the surroundings and to enable the heat generated to be measured by the rise in temperature of the water. The only thing then put into the apparatus from outside, was the work of turning the handle, which in fact is conspicuously greater when the current is generated (because the attraction of the magnet must be overcome) than when the circuit is open and no current is flowing. The heat

appearing must therefore be created by this extra work, through the intermediate link of the electric current” (Mott-Smith, 1934, p.140-142).

Este texto de Mott-Smith merece, pela sua clareza e pela ligação que permite ao pensamento de Joule, um lugar de relevo no contexto de formação de professores. As experiências aqui nomeadas são de fácil realização para uma exploração qualitativa da ligação entre vários fenómenos físicos, permitindo criar situações em que podemos evocar a relação de Joule com estes novos fenómenos. A máquina electromagnética é utilizada por Solomon, como vimos (capítulo 2), para criar uma certa sensibilidade às transferências e transformações de energia. Se se lhe juntar um conteúdo narrativo que consiga colocar em cena a lógica, a percepção e a especulação de um Joule que não dispunha ainda de uma noção de equivalência entre calor e trabalho, haverá um ganho emotivo grande.

É interessante ver como esta máquina foi tão importante para o desenvolvimento das ideias de Joule e de como ela vai ser um elemento chave numa das Popular Scientific Lectures de Helmholtz (ver capítulo 6). À volta desta máquina (muito divulgada por Faraday) poderemos desenvolver um conjunto de histórias interessantes, o que nos permitirá manter a fase do romance, o que nos permitirá concretizar a ideia de “aula voadora”.

Em 1843 Joule publica, no *Philosophical Magazine*, o artigo intitulado *On the Caloric Effects of Magneto-Electricity and on the Mechanical Value of Heat*. Nesse mesmo ano já tinha sido publicada, na mesma revista, a conferência proferida na British Association de Manchester em 1842 intitulada *On the Electrical Origin of Chemical Heat*, onde Joule tenta mostrar que

“the heat of combustion is an electrical phaenomenon (...). We have also shown that the heat arises from the resistance to the conduction of electricity between the atoms of combustibles and oxygen at the moment of their union” (p.208).

É no primeiro artigo referido que Joule começa a utilizar a expressão de convertibilidade entre o calor e o trabalho. A segunda parte deste artigo concentra-se sobre o valor mecânico do calor.

Esta parte do artigo começa assim:

“Having proved that heat is generated by the magneto-electrical machine, and that by means of the inductive power of magnetism we can destroy or increase at pleasure the heat

due to chemical changes, it became an object of great interest to inquire whether a constant ratio existed between it and the mechanical power gained or lost” (p.435).

Assim chega Joule ao ponto que dará origem ao problema central da sua actividade científica: a determinação do equivalente mecânico do calor. Com efeito, a procura de um valor cada vez mais perfeito para esta quantidade é um objectivo que ele se fixa no artigo de 1843. Neste, ele descreve um conjunto de experiências¹¹ e apresenta as tabelas com os resultados, concluindo:

“The foregoing are all the experiments I have hitherto made on the mechanical value of heat. I admit that there is a considerable difference between some of the results¹², but not, I think, greater than may be referred with property to mere errors of experiment. I intend to repeat the experiments with a more powerful and more delicate apparatus. At present we shall adopt the mean result of the thirteen experiments given in this paper, and state generally that, -

The quantity of heat capable of increasing the temperature of a pound of water by one degree of Fahrenheit's scale is equal to, and may be converted into, a mechanical force capable of raising 838 lbs. To the perpendicular height of one foot” (p.441).

Joule não descarta as implicações práticas das suas conclusões. Nesse sentido escreve:

“Among the practical conclusions which may be drawn from the convertibility of heat and mechanical power into one another, according to the above numerical relations, I will content myself with selecting two of the more important. The former of these is in reference to the duty of steam-engines; the latter, to the practicability of employing electromagnetism as an economical motive force” (p.441).

Claro que Joule apenas analisa a eficiência dos motores do ponto de vista da equivalência entre calor e trabalho, a segunda lei ainda não entra em cena.

¹¹ É interessante perceber o cuidado com que Joule descreve as suas experiências. Por exemplo, quando trata da máquina electromagnética ele mostra claramente como são diferentes as situações com o circuito aberto ou fechado. A este respeito escreve:

“To maintain the velocity of 600 per minute, 5lbs. 3oz. had to be placed in each scale; but when the battery was thrown out of communication with the electro-magnet, and the motion was opposed solely by friction and the resistance of the air only 2lbs. 13oz. were required for the same purpose. The difference, 2lbs. 6oz., represents the force spent during the connexion of the battery with the electro-magnet in overcoming magnetic attractions and repulsions” (p.436).

¹² Com efeito, através das experiências realizadas Joule obtém como equivalência do calor associado à elevação de um grau fahr. de uma lb. de água a elevação de um corpo a um pé de altura de sucessivamente 1001, 1040, 910, 1026, 587, 742, 860 lbs.

No fim deste artigo Joule insere um P.S.¹³ onde faz algumas afirmações que importa relevar.

Começa por ligar o seu trabalho às conclusões de Rumford para colocar em evidência o desenvolvimento de calor a partir da fricção (imagem forte que será utilizada na explicação de muitos fenómenos), especulando, depois sobre a indestrutibilidade das forças. Com efeito, escreve:

“I shall lose no time in repeating and extending these experiments, being satisfied that the grand agents of nature are, by the Creator’s fiat, *indestructible*; and that wherever mechanical force is expended, an exact equivalent of heat is *always* obtained” (p.432).

Com base nesta ideia vai reforçar a interpretação sobre a origem do calor animal (fricção do sangue nas veias e artérias) para chegar a uma necessidade de interpretação dos fenómenos de combustão:

“It is unquestionable that heat is produced by such friction, but it must be understood that the mechanical force expended in the friction is a part of the force of affinity which causes the venous blood to unite with oxygen; so that the whole heat of the system must still be referred to the chemical changes. But if the animal were engaged in turning a piece of machinery, or in ascending a mountain, I apprehend that in proportion to the muscular effort put forth for the purpose, a *diminution* of the heat evolved in the system by a given chemical action would be experienced” (p.442).

No artigo anterior Joule tinha defendido uma origem eléctrica para o “calor químico”, agora tenta ir um pouco mais longe na sua interpretação. Nesse sentido escreve:

“I now venture to state more explicitly, that it is not precisely the attraction of affinity, but rather the mechanical force expended by the atoms in falling towards one another, which determines the intensity of the current, and consequently the quantity of heat evolved; so that we have a simple hypothesis by which we may explain why heat is evolved so freely in the combination of gases, and by which indeed we may account “latent heat” as a mechanical power prepared for action as a watch spring is when wound up” (p.443).

¹³ O artigo foi escrito em Julho de 1843 e o P.S. foi acrescentado em Agosto desse mesmo ano.

Joule chega, assim, a uma significação física para o “calor latente”¹⁴. Ele ilustra esta ideia através de um exemplo muito interessante, pela sua clareza de raciocínio e pelo reconhecimento do valor da especulação:

“Suppose, for the sake of illustration, that 8lbs. of oxygen and 1lb. of hydrogen were presented to one another in the gaseous state, and then exploded, the heat evolved would be about one degree Fahr. In 60,000 lbs. of water, indicating a mechanical force expended in the combination equal to a weight of about 50,000 of lbs. raised to the height of one foot. Now if the oxygen and hydrogen could be presented to each other in a liquid state, the heat of combination would be less than before, because the atoms, in combining, would fall through less space. The hypothesis is, I confess, sufficiently crude at present, but I conceive that ultimately we shall be able to represent the whole phenomena of chemistry by exact numerical expressions, so as to be enabled to predict the existence and properties of new compounds” (p.443, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Na Senda do Equivalente Mecânico do Calor

Nos dois artigos referidos podemos apreciar a clareza de raciocínio, o cuidado que ele coloca nas quantificações (por exemplo, quando há efeitos luminosos ele vai investigar até que ponto estes efeitos, não contabilizados, poderão afectar os seus resultados¹⁵) e o lugar central que elas ocupam, e o valor da especulação no pensamento científico.

Vemos com o artigo sobre o *Equivalente Mecânico do Calor* como à medida estabelecida está associado um certo olhar unificador sobre os fenómenos, que permite a Joule passar das suas experiências para outros fenómenos. Ele começa a ser tomado pelo mesmo impulso (este impulso será mais evidente na conferência de 1847, como veremos) pelo mesmo impulso de generalização presente: no artigo de Lavoisier sobre a respiração (ver cap.7), nos artigos de Mayer (ver cap.4), nos artigos de Colding.

¹⁴ A ideia de “calor latente” será, mais tarde, esvaziada de significado por Clausius.

¹⁵ “Besides the corrections to the theoretical results which I have supplied, I thought that there might be a slight one needed on account of *light* which is evolved in such abundance in some instances of combustion. It was of importance to ascertain whether in the evolution of light an equivalent of heat was absorbed. With this view I have made an extensive series of experiments with the voltaic apparatus, comparing the heat evolved when no light was exhibited, with that evolved when no light was exhibited, with that evolved when the conducting wire was ignited to whiteness” (Joule em *On the Electrical Origin of Chemical Heat*, Phil. Mag., 1843, p.205)

Em 1845 é publicado no *Philosophical Magazine*, após recusa de publicação nas *Philosophical Transactions* o artigo *On the Changes of Temperature Produced by the Rarefaction and Condensation of Air*. Aí Joule passa para outro tipo de experiências com a esperança de que estas lhe permitam uma determinação mais exacta do equivalente mecânico do calor. Vê-se, nitidamente, que Joule procura a experiência mais “simples” e mais “perfeita” para a determinação do equivalente mecânico do calor. Com efeito escreve no início do artigo:

“In that paper [refere-se ao artigo *On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat*] it was demonstrated experimentally that the mechanical power exerted in turning a magneto-electrical machine is *converted into the heat* evolved by the passage of the currents of induction through its coils; and, on the other hand, that the motive power of the electro-magnetic engine is obtained at the expense of the heat due to the chemical reactions of the battery by which it is worked. I hope, at a future period, to be able to communicate some new and very delicate experiments, in order to ascertain the mechanical equivalent of heat with the accuracy which its importance to physical science demands. My present object is to relate an investigation in which I believe I have succeeded in successfully applying the principles before maintained to the changes of temperature arising from the alteration of density of gaseous bodies” (p.369, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

No desenrolar das experiências descritas neste artigo Joule vai ter de mostrar experimentalmente que “no change of temperature occurs when air is allowed to expand in such a manner as not to develop mechanical power” (p.377). Desconhecia, portanto, os resultados das experiências de Gay-Lussac, que Mayer tão inteligentemente utilizou¹⁶. No entanto, tinha conhecimento dos resultados das experiências de Dulong. Com efeito, escreve:

“The discovery of Dulong, that equal volumes of all elastic fluids, taken at the same temperature and under the same pressure, when suddenly compressed or dilated to the same fraction of their volume, disengage or absorb the same absolute quantity of heat, accords perfectly with these principles” (p.381).

Com base nestas experiências Joule chega aos seguintes resultados para os equivalentes mecânicos do calor: 823, 795, 820, 814 e 760 lbs.foot. A dispersão dos valores já é muito

menor do que no artigo anterior. Vejamos como Cardwell apresenta o raciocínio de Joule neste artigo:

“The figures it [refere-se ao método] gave were sufficiently close to those obtained by the other methods that he felt confident that the heat evolved was just the manifestation, in another form, of all the work done in compressing the air. For the public, though, it was necessary to confirm this supposition experimentally. In compressing the air three things had happened: work had been done, the air had become heated and the air had been much reduced in volume. Was he justified in saying that all the work had been expended in generating heat? On the face of it, certainly not; some work, at least, might have been spent in reducing the volume of the air. Work has to be done to wind up a watch spring; its bulk or volume is reduced. As Joule discovered experimentally, no heat appeared when a spring was wound up; all the work was used to wind up the spring. For a positivist that would, presumably, have been the end of the matter; but Joule was a Daltonian atomist and these results had a bearing on the atomic structure of gases. It had been commonly assumed that the atoms of gases repelled each other with a force that diminished as separation increased. In other words, it was thought that atoms behaved like small springs. But, as far as Joule’s evidence went, this was not the case. The atoms of gases could not, therefore, be static; they must, somehow, be associated with motion” (p.64).

Deste modo, Joule estabelece que todo o trabalho utilizado na compressão de um gás é convertido em “calor” (o que só é correcto para o caso dos gases perfeitos), recorrendo para isso a mais uma série de experiências.

No fim do artigo Joule retoma os temas que lhe são caros: as implicações práticas das suas conclusões e a indestrutibilidade da força. Com efeito escreve:

“The principles I have adopted lead to a theory of the steam-engine very different from the one generally received, but at the same time much more accordant with facts. It is the opinion of many philosophers that the mechanical power of the steam-engine arises simply from the passage of heat from a hot to a cold body, no heat being necessarily lost during the transfer. This view has been adopted by Mr. E. Clapeyron in a very able theoretical paper, of which there is a translation in the 3rd part of Taylor’s Scientific Memoirs. This philosopher agrees with Mr. Carnot in referring the power to *vis viva* developed by the

¹⁶ Esta é a base de discórdia entre Joule e Mayer, pois o primeiro considera que Mayer não teria legitimidade para fazer a hipótese que utiliza nos seus cálculos.

caloric contained by the vapour, in its passage from the temperature of the boiler to that of the condenser. I conceive that this theory, however ingenious, is opposed to the recognised principles of philosophy, because it leads to the conclusion that *vis viva* may be destroyed by an improper disposition of the apparatus” (p.382).

Os princípios da filosofia a que Joule se refere são aqueles que não põem em causa a ideia de indestrutibilidade da força, como é o “princípio” da convertibilidade das “forças”:

“Believing that the power to destroy belongs to the Creator alone, I entirely coincide with Roget and Faraday in the opinion, that any theory which, when carried out, demands the annihilation of force is necessarily erroneous. The principles, however, which I have advanced in this paper are free from this difficulty. From them we may infer that the steam, while expanding in the cylinder, loses heat in quantity exactly proportional to the mechanical force which it communicates by means of the piston; and that on the condensation of the steam, the heat thus converted into power is not given back. Supposing no loss of heat by radiation, etc., the theory here advanced demands that the heat given out in the condenser shall be less than that communicated to the boiler from the furnace, in exact proportion to the equivalent of mechanical power developed” (p.383).

Vemos, assim, como Joule se demarca da ideia fundamental na analogia explicativa de Carnot para o poder motriz do calor. Quando Joule encontra William Thomson, entusiasmado com as ideias de Carnot, cria-lhe um problema que será um motor criativo importante.

A justificação teológica não deixa de estar presente na ciência do século XIX, contrariamente ao sugerido por Solomon.

Na conferência de 1845 da British Association, realizada em Cambridge, Joule apresenta:

“his next determination of the mechanical equivalent of heat. It was a familiar experiment. A pair of falling weights drove, by means of two light cords, a vertical drum mounted on a shaft at the lower end of which was a brass paddle. This rotated in a copper drum full of water and fitted with brass baffles to counter the tendency of the water to rotate with the paddle. (...)The weights fell through thirty-six feet at a speed of one foot per second. After sixteen descents and sixteen rewinds the temperature of the water was taken, the procedure being repeated nine times. Corrections for heat losses having been made, Joule calculated that the mechanical equivalent was 890 foot.pounds. It has seemed paradoxical to some

that, although this was the least accurate average result that he got, the paddle and drum method was to be the one that he subsequently adopted for his most precise determinations. But Joule made it quite clear that he did not have time to perfect the apparatus and that the experiments had to be carried out under unsatisfactory conditions. On the credit side, the drum and paddle apparatus was the best on the score of simplicity; it was open to fewer objections than the other three methods and it offered the simple and obvious advantage that other liquids besides water could be used thus extending the range of the experiments ” (Cardwell, p.75-76).

Joule fixar-se-á, portanto, neste tipo de experiência para determinação de um valor mais exacto para o equivalente mecânico do calor. Embora estas experiências comecem por dar valores menos bons ele vê nelas, pela sua simplicidade teórica, a chave para a determinação desta quantidade. Todo este caminho nos mostra um Joule à procura de uma certa perfeição, associada a uma ideia de simplicidade.

Juntando os valores deste conjunto de experiências aos outros valores já calculados Joule faz uma estimativa para o equivalente mecânico do calor, cuja validade ele considera provada, de “817 foot.pounds” e convida:

“those who ‘reside amid the romantic scenery of Wales or Scotland’ to confirm his results by measuring the temperature of the water at the top and the bottom of a cascade. The theory indicated that the water at the bottom of Niagara (160 feet high) should be about $1/5^{\circ}\text{F}$ higher than at the top” (Cardwell, p.76).

Esta ideia da alteração da temperatura da água numa queda de água é depois retomada por Kelvin quando fala do seu encontro com Joule, como veremos seguidamente.

Este tipo de experiências será retomado e aperfeiçoado ao longo de vários anos. Em 1849, já depois de estabelecida uma relação com um elemento importante da comunidade científica - William Thomson - Joule consegue fazer publicar na revista *Philosophical Transactions* um artigo intitulado *On the Mechanical Equivalent of Heat*. Aí faz a história dos seus trabalhos de investigação para mostrar:

“Results so closely coinciding with one another, and with those previously derived from experiments with elastic fluids and the electro-magnetic machine, left no doubt on my mind as to the existence of an equivalent relation between force and heat; but still it appeared of

the highest importance to obtain that relation with still greater accuracy. This I have attempted in the present paper” (p.64).

E conclui este artigo com as duas proposições que ele considera demonstradas:

“1st. *That the quantity of heat produced by the friction of bodies, whether solid or liquid, is always proportional to the quantity of force expended; And,*
2nd. *That the quantity of heat capable of increasing the temperature of a pound of water (weighed in vacuo, and taken at between 55° and 60°) by 1°Fahr., requires for its evolution the expenditure of a mechanical force represented by the fall of 772lbs. through the space of one foot”* (p.82).

Este artigo começa com duas frases em epígrafe, uma de Locke (que afirma que o calor é movimento) e outra de Leibniz (que afirma que a *força* de um corpo em movimento é proporcional ao quadrado da sua velocidade, ou à altura que atingiria contra a gravidade). Estas duas frases são dois pilares importantes para as ideias desenvolvidas por Joule. Este insere as suas ideias na continuidade dos trabalhos de Rumford e Davy.

Embora este artigo não introduza nenhuma novidade e embora tenha sido censurado¹⁷, ele merece uma atenção especial em situações de formação (será apresentado em anexo) por ser aí apresentada a experiência mais paradigmática na determinação do equivalente mecânico do calor e: pela forma como está construído, pela clareza com que são apresentados os resultados das experiências, pelo investimento nas correções dos resultados, pela noção de prova científica aí presente. Em suma pelo estilo inconfundível de Joule.

Retomemos o percurso de Joule. Em 1846 não faz nenhuma intervenção na Conferência anual da British Association - que nesse ano se realizou em Southampton, embora tenha estado presente. Aí encontrou Sir Hershel, “the Lion of British Science” (Cardwell, p.78), que rejeitou a teoria dinâmica do calor e que alimentou uma polémica com Rankine sobre a noção de energia, nomeadamente, no que diz respeito à necessidade de uma entidade, um pouco obscura, como a de energia potencial, para que a ideia de conservação funcionasse.

¹⁷ Com efeito:

“In his 1850 paper ‘On the mechanical equivalent of heat’, joule had to eliminate the major conclusion that ‘friction consisted in the conversion of mechanical power into heat’ before the memoir was published in the *Philosophical Transactions*. Only the stark, experimentally established conclusion that the quantity of heat produced was proportional to the quantity of work done, according to an exact numerical equivalent, was acceptable” (Smith a Wise, 1989, p.304).

O ‘referee’ deste artigo foi Faraday.

Toda a actividade científica de Joule até 1847 é, praticamente, ignorada pela comunidade científica, porque os problemas que ele coloca não são os problemas que interessam essa comunidade, porque é um desconhecido e porque, como o próprio Joule escreve, nada de bom seria de esperar de homens que jantam à hora de almoço (alterações na vida das cidades industriais).

O ano de 1847 será um ano muito importante na vida de Joule, como veremos seguidamente.

5.4 A indestrutibilidade da força

O ano de 1847 é um marco importante na vida de Joule. Com efeito:

-É o ano em que Joule encontra William Thomson, na Conferência anual da British Association, onde mais uma vez expõe os resultados das suas investigações (o que passaria novamente despercebido não fosse a presença de Thomson)

-É o ano da sua segunda lição pública na biblioteca da escola St. Ann (o texto desta lição será de grande importância para nós)

-É o ano do seu casamento.

A relação que nesse ano se inicia com um académico, como é Thomson, vai ser de importância capital para o reconhecimento científico do pensamento de Joule. Como afirma Cardwell, uma personalidade tímida, como é o caso de Joule, a juntar ao facto de não ter “nascido” nas instituições com mérito científico reconhecido, precisaria, para se impor cientificamente, de uma tutela. Crowther lamenta que esta tutela seja assegurada por Thomson. A este respeito escreve:

“The scientific work of Joule and of Darwin have certain resemblances in qualities. Their work was baldly scientific and the results were of vast importance, but neither was concerned with the explanation of the general implications. Joule’s papers are in fact less tedious to the general reader than many of Darwin’s. Besides the nearness of Darwin’s chief theme to the personal interests of humanity, he had the advantage of having its implications explained by T. H. Huxley, and Huxley’s pupil, H. G. Wells. Joule was interpreted by William Thomson, whose original genius was coarser than Joule’s, and who lacked the mastery of speech, and the insight into human nature, that made Huxley such a brilliant expositor” (p.130).

Assim, Crowther considera que as ideias de Joule são tão revolucionárias quanto as de Darwin mas nunca chegam a ter o sucesso e o alcance que o pensamento de Darwin obteve. Com efeito, hoje Joule aparece, na escola, apenas associado a algumas medidas: não lhe é dado qualquer relevo, isto é, ninguém desconfia que ele foi protagonista de uma revolução científica.

O encontro com William Thomson

A Conferência anual da British Association realiza-se, em 1847, em Oxford durante o mês de Junho. Mais uma vez Joule prepara-se para apresentar as suas ideias e os seu resultados:

“On Thursday 24 June, Joule read his paper on the new theory of heat. It was late in the day and, to save time, the Chairman asked him to confine himself to a brief summary of the principal points of his paper. He exhibited and explained his paddle-wheel apparatus. Experiments using water and sperm oil gave, he claimed, 781.5 and 782.1 foot.pounds respectively for the mechanical equivalent of heat. He had also made some experiments on the compression of steel springs. No heat, he found, was generated; all the living force used to compress the springs had been converted into attraction through space. It was, he believed, analogous to latent heat” (Cardwell, p.83).

Teria sido mais uma apresentação sem história não fora a presença do jovem William Thomson (1824-1907). Este, herdeiro de Fourier e empenhado, na altura, no estudo do ciclo de Carnot, sentiu-se estimulado com as ideias de Joule, tão diferentes das ideias que lhe eram familiares mediadas pelos autores referidos. Tal facto levou-o a colocar algumas questões a Joule. Este ao sentir o interesse de Thomson viu aí, de acordo com Cardwell, a oportunidade da sua vida, pois Thomson, apesar da sua juventude já era um universitário de prestígio. Na sequência deste encontro Joule envia a Thomson o conjunto dos seus artigos e este sente que há neles algo de muito importante. Com efeito, numa carta ao pai, Thomson escreve:

“Joule is, I am sure, wrong in many of his ideas, but he seems to have discovered some facts of extreme importance, as for instance, that heat is developed by the friction of fluids” (Thomson, 1847, citado por Cardwell, p.85).

Joule mantém, então, correspondência com W. Thomson onde vai dando conta das suas conclusões e sugere a Thomson que tente uma experiência muito simples:

“With regard to the waterfall experiments I don’t think you would find much difficulty and I am anxious that you should make the experiment. I think you might succeed with a sensible thermometer of Regnault’s and a rope and bucket for collecting the water. As for the spray and foam, I think that in a large waterfall the influence of the air must be trivial

as the same particles of air are in contact with the water for a length of time and even if the objection held good it might be overcome by examining the effect in summer and winter. I do hope to hear of your success in this experiment which is really a very interesting one” (Joule, 1847, citado por Cardwell, p.85-86).

Contudo, como escreve Cardwell:

“Thomson’s interest did not, however, imply his conversion to the new doctrine. The influence of Fourier and the deep impression made by Carnot’s work were not to be nullified by Joule’s experiments” (p.86).

Será interessante perceber como se dá a “conversão” de W. Thomson (só depois de compatibilizar as ideias de Carnot com as de Joule). Mas, continuemos, por enquanto, no ano de 1847. O jovem Thomson parte de férias para os Alpes na Suíça¹⁸. Uma manhã, perto de Chamonix, Thomson encontra, por acaso, Joule. Disso dá notícia ao pai escrevendo:

“Before leaving the St. Martin road I met, walking, Mr Joule, with whom I recently become acquainted at Oxford. When I saw him before he had no ideas of being in Switzerland (he had even wished me to make some experiments on the temperature of waterfalls) but since that time he had been married and was now on his wedding tour. His wife was in a car, coming up a hill. As we were going different ways we had of course only a few minutes to speak. I was even more surprised by this accidental meeting than the last” (Thomson, citado por Cardwell, p.89).

Muitos anos mais tarde (trinta e cinco) Thomson conta esta história diferentemente. Com efeito escreve em 1882:

“(…) He did not tell me he was to be married in a week or so, but about a fortnight later, I was walking down from Chamonix to commence the tour of Mont Blanc, and whom should I meet walking up, but Joule, with a long thermometer in his hand, and a carriage with a lady in it not far off. He told me that he had been married since we parted at Oxford! and he was going to try for elevation of temperature in waterfalls. We trysted to meet a few

¹⁸Helmholtz também cultivou o prazer dos passeios nos Alpes, como refere Richard Kremer (1990). Este autor escreve: “by mid-century, Switzerland had become the favorite destination for Europe’s new middle-class “tourists”, a word invented only early in the nineteenth century” (p.xx).

days later at Martigny, and look at the Cascade de Sallanches, to see if it might answer.

We found it too much broken into spray” (citado por Crowther, p.186).

Sobre esta história Cardwell escreve que Thomson “knew how to recognise and how to improve a good story” (p.89). Mesmo que os acontecimentos não se tenham desenrolado assim e que esta história não seja mais do que uma anedota, ela traduz bastante bem uma certa obsessão de Joule em dar visibilidade fenomenológica aos seus resultados experimentais.

O interesse de Thomson pelo trabalho de Joule compreende-se por duas razões essenciais, em sentidos diferentes. Com efeito, William Thomson e o irmão (James Thomson) andavam às voltas com o problema da “perda” de trabalho na fricção dos fluidos e na condução de calor e estariam preparados para uma ideia de conversão de trabalho em calor na fricção dos fluidos. No entanto, a ideia inversa da conversão de calor em trabalho vinha pôr em causa algumas das ideias herdadas de Carnot.

Desta forma a ideia de Joule era, por um lado, familiar a Thomson e, por outro, completamente estranha, o que lhe conferia um grande interesse. Com efeito:

“William naturally received Joule’s new ‘fact’, that heat is developed by the friction of fluids in motion, with great interest, having considered the possibility himself” (Smith e Wise, p.302).

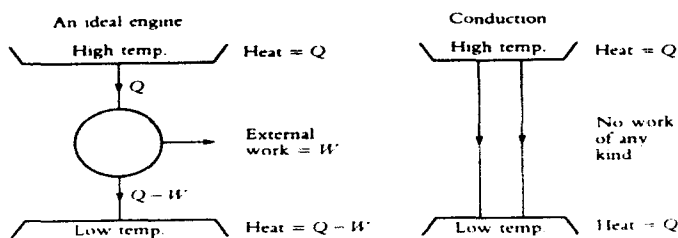
Mas para os Thomson (William e James) o valor mecânico do calor deveria ser proporcional ao quadrado da quantidade de calor (o que derivava da analogia da queda de água), e não à quantidade de calor, como era para Joule. Smith e Wise mostram como:

“Thomson’s dilemma rested not on any unwillingness to accept that work might be converted into heat. Rather, he could not accept the reverse conversion of heat into work, and therefore could not accept Joule’s principle of interconvertibility” (id., p.316).

Os anos 1847-1850 serão anos de debate intenso entre estas duas abordagens até ao reconhecimento, pela parte dos irmãos Thomson, que o calor era um estado de movimento, transferível. Joule e James Thomson defendem dois quadros explicativos diferentes (ver figura 5.2):

“Joule, committed to a dynamical theory of heat, heat as *vis viva*, focussed criticism on the production of work without loss of heat. James Thomson, bound to no theory of the nature of heat, but committed to the idea of work done by a fall in intensity, focussed criticism on a fall without compensating work, as in conduction. Both views conserved mechanical effect. Indeed, the Thomson brothers welcomed the conversion solved, for example, the problem of loss of *vis viva* by fluid friction. By making fall in intensity the fundamental issue, however, their view directed attention to a quite different problem, namely recoverability, or the question of whether or not the additional heat could be converted again into available mechanical effect, or into heat at a higher temperature. *It made the question of dissipation during conduction into the same question as whether or not heat could be converted back into work.* We shall indeed see the importance of this move in relation to William’s continuing unwillingness to accept fully Joule’s view of the *mutual* conversion of heat and work” (Smith e Wise, p.308).

Joule’s view:



James Thomson's view:

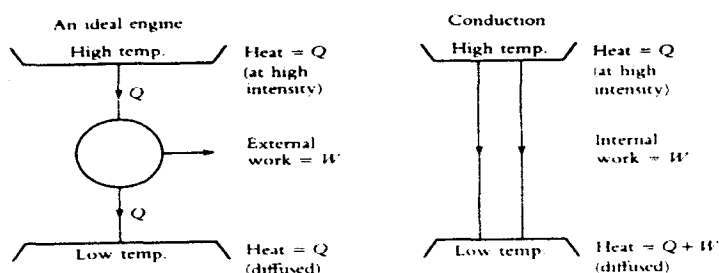


Figura 5.2 Diferenças conceituais entre Joule e James Thomson na relação entre trabalho (W) e calor (Q) considerando um motor ideal e considerando a condução térmica (figura retirada de *Kelvin*, de Smith e Wise, p.309).

Joule desenvolve as suas ideias sob o signo da equivalência enquanto que em Thomson existe, desde o princípio, uma ideia central de direccionalidade, como Smith e Wise colocam em evidência:

“So long as William did not admit the conversion of heat into mechanical

effect, he could maintain both that motive power originated only in a fall of intensity, or diffusion, and that motive power could be converted into heat. James’s previous attempt to reconcile these two doctrines, however, together with the brothers’ continual perplexity

about waste, suggests that William's reluctance to admit the reverse conversion had a deeper root, namely a prior commitment to directionality, or progression, in the processes of nature" (id., p.310, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Joule tentará, então, mostrar a conversão de calor em trabalho mas as experiências realizadas não são convincentes para William Thomson. Em Outubro de 1848 Joule escreve a Thomson apresentando e discutindo as suas experiências sobre a rarefacção e a condensação, concluindo:

"I thought I had proved the convertibility of heat into power; for I found that on letting the compressed air escape into the atmosphere, a degree of cold was produced equivalent to the mechanical effect estimated by the column of atmosphere displaced" (Joule citado por Smith e Wise, p.311).

Thomson responde dizendo que está a trabalhar no sentido de conciliar as duas perspectivas mas enfatiza "the serious difficulty that remained, namely that Joule had not provided any resolution of what happens to work lost during conduction. Until some answer could be found, he could not totally accept Joule's views and reject the Carnot theory" (Smith e Wise, p.312). Smith e Wise traduzem o diferendo entre Thomson e Joule da seguinte forma:

"Thomson took as axiomatic, then, the principle that the amount of heat flowing into or out of a body depended only its change of state. If there were no change of state, as much heat left the body as entered it. That principle was for him at least as profound as the indestructibility of mechanical effect, and so, until he could either reconcile the two principles, or discard one of them, he could not proceed. For his part, Joule faced no such obstacles. Heat was for him *vis viva*, and could thus enter and leave a body either as the *vis viva* of heat, or as work" (p.314).

Joule tentará convencer Thomson da interconvertibilidade entre calor e trabalho com um acréscimo de experimentação, que nunca chegará a ser decisiva para a "conversão" de Thomson. Este, no seu artigo "On the Dynamical Theory of Heat" (1852), faz referência às tentativas de Joule para o convencer deste aspecto. Com efeito escreve:

"This reasoning¹⁹ was suggested to me by the following passage contained in a letter which I received from Mr. Joule on the 8th of July 1847. 'In Peltier's experiment on cold produced at the bismuth and antimony solder, we have an instance of the conversion of heat into the mechanical force of the current', which must have been meant as an answer to a remark I had made, that no evidence could be adduced to show that heat is ever put out of existence. I now fully admit the force of that answer" (p.16, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Ao referir que agora admite a força deste argumento Thomson deixa-nos entender como precisou de tempo para isso. Determinante, neste processo, terá sido uma comunicação (1850) apresentada por Rankine à Royal Society of Edinburgh (mais tarde publicada na revista *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*) intitulada "On the mechanical action of heat, especially in gases and vapours". Esta teve, na verdade, um grande efeito sobre o percurso de Thomson na aceitação da teoria dinâmica do calor, uma vez que no estudo da expansão dos gases Rankine mostra como a interpretação dos dados experimentais a partir de uma teoria mecânica do calor é frutuosa. Thomson escreve a este respeito:

"Important contributions to the dynamical theory of heat have recently been made by Rankine and Clausius; who, by mathematical reasoning analogous to Carnot's on the motive power of heat, but founded on an axiom contrary to his fundamental axiom, have arrived at some remarkable conclusions" (p.10).

Esta última parte da sua afirmação mostra como a partir dos trabalhos de Rankine e Clausius, Thomson começa a "ver" como é possível manter a parte mais importante do trabalho de Carnot e introduzir a noção de interconvertibilidade entre trabalho e calor. Como escrevem Smith e Wise:

"Even though Thomson did not accept Rankine's *specific* mechanical hypothesis of the nature of heat, he was soon prepared to accept a *general* dynamical theory of heat, namely that heat was *vis viva* of some kind" (id., p.320).

¹⁹ Refere-se ao seguinte raciocínio: "when a current produced by thermal agency is made to work an engine and produce mechanical effect, there will be less heat emitted from the parts of the circuit not affected by the source than is taken in from the source, by an amount precisely equivalent to the mechanical effect produced" (p.16).

Progressivamente Thomson vai, muito cautelosamente, começar a “to toy with the dynamical theory of heat”. Em 1851 Thomson publica, *nos Proc. Royal Soc. Edinburgh*, um artigo intitulado “On the dynamical theory of heat, with numerical results deduced from Mr. Joule’s equivalent of thermal unit and M. Regnault’s observations on steam”. É este artigo que, de acordo com Smith e Wise, objectiva a “conversão” de Thomson. Em suma, o que é que o levou a este ponto? Vimos como as “provas” experimentais, as de Joule, não eram suficientes. A interpretação de Smith e Wise é a seguinte:

“What should we regard as the foundation of this new commitment²⁰? From the published paper one would suppose it was experiment. A late part of the draft, however, denied the force of experiment and promoted Joule’s arguments: ‘the author considers that as yet no experiment can be quoted which directly demonstrates the disappearance of heat when mechanical effect is evolved; but he considers it certain that the fact has only to be tried to be established experimentally, having been convinced of the mutual convertibility of the agencies by Mr. Joule’s able arguments’. Yet it was precisely the lack of such experimental demonstration which Thomson had previously cited against Joule’s arguments, and no new experiments could be adduced” (p.328).

E continuam:

“There can be no doubt that Joule’s arguments weighed heavily on Thomson, as did experimental evidence, the probability of new evidence, and Rankine’s and Clausius’s attacks on the problem. All of these pressures may have sharpened Thomson’s dilemma, but can have done little to resolve it. They did not touch the long-standing perplexity of both William and James over losses - waste or dissipation - as the crucial phenomenon requiring explanation. To accept mutual convertibility, whether based on a dynamical theory or not, was merely to push the problem further into obscurity; for, if heat could be converted into work, then work lost by conduction could be recovered as work again. In principle, no losses would occur. But of the fact that losses did occur irrevocably, the Thomsons had long been certain. Thus William’s susceptibility to Joule’s powers of

²⁰ Smith e Wise referem-se à primeira proposição (a segunda dirá respeito ao enunciado de Kelvin da segunda lei, que nele emerge ao mesmo tempo que se dá a sua aceitação da interconvertibilidade) enunciada por Thomson nos seguintes termos:

“When equal quantities of mechanical effect are produced by any means whatever from purely thermal sources, or lost in purely thermal effects, equal quantities of heat are put out of existence or are generated” (Thomson citado por Smith e Wise, p.328).

persuasion, and equally to the experimental evidence, hinged on his resolution of dissipation" (id., p.328, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

A crença central no pensamento de Thomson é a de "perda". Com efeito, no 'draft' referido por Smith e Wise ele estabelece o seu "credo" afirmando:

"I believe the tendency in the material world is for motion to become diffused, and that as a whole the reverse of concentration is gradually going on - I believe that no physical action can ever restore the heat emitted from the sun, and that this source is not inexhaustible; also that the motions of the earth & other planets are losing *vis viva* which is converted into heat..." (Thomson, citado por Smith e Wise, p.330).

É o princípio da "doutrina" da morte térmica do universo. Assistimos, assim, à transformação de Thomson: a especulação passa a ter um lugar de privilégio no seu pensamento:

"In founding his second proposition on the axiom of dissipation, William Thomson opened the way to cosmological speculations on a grand scale. Similarly, but in the opposite direction, the foundation he adopted for his first proposition would lead him to speculations on the molecular structure of matter. To establish mutual convertibility of heat and work he adopted the hypothesis that heat is 'a dynamical form of mechanical effect', consisting in molecular motions. The proposition followed automatically. In Thus committing himself to a dynamical theory of heat, Thomson violated the fundamental methodological doctrine of his prior work, the stricture against physical hypotheses, which limited 'positive' mathematical theory to the development of experimentally established laws. As in his discussion of the dissipation axiom, he spoke of the dynamical theory in terms of belief, 'feeling convinced that the theory...is true'. And his conviction allowed him to argue, in spite of the lack of definitive evidence for conversion of heat to work, that 'the fact has only to be tried to be established experimentally'. The dynamical theory of heat, indeed, marked a critical watershed in Thomson's career" (Smith e Wise, p.334, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Dar a ver o invisível parece, assim, não ser apenas privilégio dos pintores modernos, a actividade científica também se vai desenvolver nessa direcção.

Contrariamente a Mayer, que não precisava conceptualmente de fazer hipóteses sobre a natureza do calor, para postular a interconvertibilidade, Joule e Thomson vão apoiar-se na hipótese atômica (para Thomson ela será essencial para a compatibilização dos dois princípios). Quando Thomson finalmente aceita a teoria dinâmica do calor e constrói a sua história a partir de Humphry Davy, considerando que a célebre “experiência” de Davy com o gelo (fusão do gelo a partir da fricção) estabelece a teoria dinâmica do calor e que:

“The recent discoveries made by Mayer and Joule, of the generation of heat through the friction of fluids in motion, and by the magneto-electric excitation of galvanic currents, would either of them be sufficient to demonstrate the immateriality of heat; and would so afford, if required, a perfect confirmation of Sir Humphry Davy’s views” (Thomson, citado por Smith e Wise, p.336).

Assim emerge o mito de que “Davy had established the dynamical theory fifty years earlier by rubbing pieces of ice together (an argument that Thomson had not accepted himself one year earlier²¹) and that Joule had put the argument beyond attack” (Smith e Wise, p.336).

Thomson deixa, então (1851), de falar do calor como função de estado, como referem Smith e Wise:

“By the time of the published version²², he ceased to speak of the heat *in* a body at all, referring only to heat absorbed or emitted with respect to the surroundings, and of ‘thermal motions’ inside. Thus, when a body emitted heat, ‘the work which any external forces do upon it, the work done by its own molecular forces, and the amount by which the half *vis viva* of the thermal motions of all its parts is diminished , must together be equal to the mechanical effect produced from it; and consequently to the mechanical equivalent of the heat which it emits’. In short, heat emitted now equalled external work plus internal work plus decrease in internal *vis viva*. ‘Heat’ had become a purely macroscopic and external concept, while ‘thermal motion’ encompassed both static and dynamic (potential and kinetic) forms of mechanical effect” (p.338).

Sem entrarmos em grandes detalhes sobre as transformações conceptuais em Thomson parecemos importante mostrar alguns marcos da sua evolução conceptual, pois ajudar-nos-ão a melhor compreender as abordagens dos manuais escolares à energia. Nesse sentido, aqui

²¹ Com efeito, trata-se de uma experiência qualitativa em que não há controlo dos parâmetros intervenientes.

transcrevemos um excerto do artigo “On the dynamical theory of heat” (1851) onde Thomson introduz o conceito de energia mecânica (equivalente ao conceito hoje utilizado de energia interna):

“The total mechanical energy of a body might be defined as the mechanical value of all the effect it would produce in heat emitted and in resistances overcome, if it were cooled to the utmost, and allowed to contract indefinitely according as the forces between its particles are attractive or repulsive, when the thermal motions within it are all stopped; but in our present state of ignorance regarding perfect cold, and the nature of molecular forces, we cannot determine this ‘total mechanical energy’ for any portion of matter, nor even can we be sure that it is not infinitely great for a finite portion of matter. Hence it is convenient to choose a certain state as standard for the body under consideration, and to use the unqualified term, *mechanical energy*, with reference to this standard state; so that the ‘mechanical energy of a body in a given state’ will denote the mechanical value of the effects the body would produce in passing from the state in which it is given, to the standard state, or the mechanical value of whole agency that would be required to bring the body from the standard state to the state in which it is given” (William Thomson citado por Smith e Wise, p.346).

Como referem Smith e Wise, o facto destes terem designado a energia interna por energia mecânica leva-os a:

“to differentiate ‘statical’ and ‘dynamical’ stores of mechanical energy, again in a macro-molecular fashion. Electrostatic and chemical energies, analogous to the gravitational potential of raised weights, he termed statical, presumably because electricity and the chemical elements, like gravitational matter, could not be created by man, whatever their underlying ‘forces’ might consist in. Light and heat, analogous to creatable motions of matter, or *vis viva*, he termed dynamical stores of energy. The principle of mechanical effect thereby became explicitly a principle of conservation of mechanical energy, static plus dynamic. Thomson afterwards proudly believed this to be ‘the first division of Energy into two kinds’. Since the division was hardly unique among conservation advocates, we must emphasize ‘Energy’, and recognize that his pride lay in his having enunciated a new term for a newly generalized concept, independent of any particular hypothesis of atoms, forces, or other underlying reality. His doctrine of mechanical energy simply asserted that

²² Refere-se ao artigo de 1851 “On the dynamical theory of heat”

the entire, conserved store of mechanical effect in the world could be divided up into the spatial relations (forces) of permanent things labelled matter - statical energy - and the motions of matter - dynamical energy. By late 1852 he had adopted Rankine's suggested terms, 'potential' and 'actual' energy, which he would change to the nowstandard 'potential' and 'kinetic' in 1862" (p.347).

Este texto faz, portanto, a história de uma certa redução fenomenológica a duas formas essenciais de energia, cristalizada nos manuais escolares de hoje. Veremos como esta abordagem contrasta com as abordagens de Mach e de Ostwald (ver Parte Terceira).

De acordo com Smith e Wise os modelos mecânicos eram importantes por duas razões: por um lado tinham uma função heurística e, por outro lado, eram uma garantia de credibilidade para uma teoria (ver p.347).

Regressemos ao ano de 1847, particularmente à lição pública dada por Joule na biblioteca da escola-igreja St. Ann em Manchester, que tem muito interesse para nós.

Sobre o texto "On Matter, Living Force, and Heat"²³

Neste artigo, Joule começa por colocar em cena a noção de matéria para depois pensar os "poderes" da matéria: a "força viva", a "atração através do espaço" e o "calor".

Tentaremos colocar, essencialmente, em evidência: o fundamento estético-teológico de alguns argumentos de Joule na introdução das ideias de interconvertibilidade e de indestrutibilidade das "forças"; a clareza e a beleza do discurso (a extensão dos argumentos a toda a natureza); o valor da experimentação.

Depois de referir como propriedades especiais (definidoras) da matéria a impenetrabilidade e a extensão Joule passa para outro tipo de propriedades e escreve:

²³ Este texto vem reproduzido na colectânea de textos elaborada por S. G. Brush sob o título "Kinetic Theory", vol. 1, 1965, pp. 78-88. É esta reprodução que nós utilizamos.

O texto vem também reproduzido na colectânea de textos elaborada por R. Bruce Lindsay sob o título "Energy: Historical Development of the Concept", 1975, pp. 349-360.

"Matter is endowed with an exceedingly great variety of wonderful properties, some of which are common to all matter, while others are present variously, so as to constitute a difference between one body and another" (p.79, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Joule refere-se aqui à atracção gravítica, à inércia e ao que virá a designar-se, mais tarde, por energia. Depois de algumas considerações sobre estas propriedades Joule traz à discussão a "força viva". Começa por fazer algumas considerações sobre o nome:

"This force possessed by moving bodies is termed by mechanical philosophers *vis viva*, or *living force*. This term may be deemed by some inappropriate, inasmuch as there is no life, properly speaking, in question; but it is *useful*, in order to distinguish the moving force from that which is stationary in its character, as the force of gravity" (p.80).

Introduz seguidamente a medida desta força e para criar condições para a aceitação do facto, aparentemente estranho, de que é proporcional ao quadrado da velocidade dá alguns exemplos experimentais. A estes juntará o exemplo mais significativo, na época, do movimento: o comboio. A este respeito afirma:

"Thus, also, it will be found that a railway-train going at 70 miles per hour possesses 100 times the impetus, or living force, as it does when travelling 7 miles per hour" (p.81).

Com a força viva Joule chega aos "poderes" especiais com que a matéria foi dotada:

"You will at once perceive that the living force of which we have been speaking is one of the most important qualities with which matter can be endowed, and, as such, that it would be absurd to suppose that it can be destroyed, or even lessened, without producing the equivalent of attraction through a given distance of which we have been speaking. You will therefore be surprised to hear that until very recently the universal opinion has been that living force could be absolutely and irrevocably destroyed at any one's option. Thus, when a weight falls to the ground, it has been generally supposed that its living force is absolutely annihilated, and that the labour²⁴ which may have been expended in raising it to

²⁴ As expressões "labour" e "labouring force" como equivalentes à palavra francesa "travail" (introduzida por Navier, Poncelet e outros) foi introduzida, na Grã-Bretanha, por Whewell. No seu texto "the mechanics of engineering" (1841) ele emprega a noção de "trabalho" "as a central feature in the theoretical structure of mechanics" (Smith e Wise, p.286). A utilização da expressão 'labouring force' exprime, de acordo com Smith e

the elevation from which it fell has been expended in raising it to the elevation from which it fell has been entirely thrown away and wasted, without the production of any permanent effect whatever. We might reason, *a priori*, that such absolute destruction of living force cannot possibly take place, because it is manifestly absurd to suppose that the powers with which God has endowed matter can be destroyed any more than that they can be created by man's agency" (p.82).

Embora Joule comece por uma argumentação estético-teológica (veremos, um pouco mais adiante, como ela reflecte uma noção de ordem) ele prossegue fazendo apelo à experiência. Com efeito, continua:

"The common experience of every one teaches him that living force is not *destroyed* by the friction or collision of bodies. We have reason to believe that the manifestations of living force on our globe are, at the present time, as extensive as those which have existed at any time since its creation, or at any rate, since the deluge - that the winds blow as strongly, and the torrents flow with equal impetuosity now, as at the remote period of 4000 or even 6000 years ago; and yet we are certain that, through that vast interval of time, the motions of the air and of the water have been incessantly obstructed and hindered by friction. We

Wise. "his parallel interest in political economy, especially in the labour theory of value" (p.286). Com efeito, Whewell escreve "labouring force is the labour that we pay for" (citado por Smith e Wise, p.286). Whewell assimilou "labour (for which wages are paid) to work done by machines" (id. P.287). Whewell seguiu os engenheiros franceses na definição da medida da "labouring force" como "the product of the resistance overcome, and the space through which it is overcome", though more specifically it may be measured 'by a given weight raised through a given vertical space'. He also gave a clear statement that the labouring force was proportional to the *vis viva*" (id., p.287).

Esta contaminação, presente em Whewell, entre noções económicas e físicas abre algumas portas para o desenvolvimento de uma especificidade para a didáctica da noção de trabalho. Já levantámos o problema no capítulo 3 através do testemunho de Vatin. Continuaremos a questão quando tratarmos das conferências públicas de Helmholtz.

Continuando a seguir o texto de Smith e Wise perceberemos melhor como esta contaminação foi importante no desenvolvimento de uma certa significação para a noção de trabalho. Com efeito, escrevem:

"Given the context of Whewell's writings on political economy and his definition of labouring force, this distinction of useful and impeding resistances should be understood in parallel with the much-discussed distinction of productive and unproductive labour. Productive labour referred to labour that produced a commodity, something that could be sold or stored up. Unproductive labour referred to labour consumed in the doing, such as the labour of personal servants. Many political economists considered the latter form of labour to contribute nothing to the wealth of a nation, and in that sense to be wasted. Such waste, by mere consumption, was to figure prominently in Thomson's thermodynamics. As part of the ever-present economic context, it carried the same significance as the term 'dissipation', which had appeared regularly in correspondence with his father during his undergraduate years" (p.287).

Para apreciarmos a diferença entre Whewell e os Thomson sigamos um pouco mais Smith e Wise:

"In his *Mechanics of engineering*, Whewell emphasized that only in cases 'where the force [is] employed in raising a weight, moving a mass, or bending a spring', can the force be stored up and brought again into play. In all other cases, the labouring force was consumed, whether productively or unproductively, in overcoming useful or impeding resistances. It is 'lost', he said, 'and cannot be recovered after being used'. For the Thomsons it was precisely this 'loss' which demanded explanation" (p.288, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

may conclude, then, with certainty, that these motions of air and water, constituting living force, are not *annihilated* by friction. We lose sight of them, indeed, for a time; but we find them again reproduced. Were it not so, it is perfectly obvious that long ere this all nature would have come to a dead standstill. What then, may we inquire, is the cause of this apparent anomaly? How comes it to pass that, though in almost all natural phenomena we witness the arrest of motion and the apparent destruction of living force, we find that no waste or loss of living force has actually occurred? Experiment has enabled us to answer these questions in a satisfactory manner; for it has shown that, wherever living force is apparently destroyed, an equivalent is produced which in process of time may be reconverted into living force. This equivalent is heat" (p.82-83).

Embora o raciocínio aqui exposto esteja incorrecto na sua base, uma vez que não é sempre a mesma quantidade de energia que está em jogo, ele é interessante pela ordem que estabelece - uma espécie de simetria no tempo - e pelo raciocínio que impõe uma noção de equivalência. A ideia de ordem na natureza está explicitada mais adiante quando Joule escreve:

"When we consider our own animal frames, 'fearfully and wonderfully made', we observe in the motion of our limbs a continual conversion of heat into living force, which may be either converted back again into heat or employed in producing an attraction through space, as when a man ascends a mountain. Indeed the phenomena of nature, whether mechanical, chemical, or vital, consist almost entirely in a continual conversion of attraction through space, living force, and heat into one another. Thus it is that order is maintained in the universe - nothing is deranged, nothing ever lost, but the entire machinery, complicated as it is, works smoothly and harmoniously. And though, as in the awful vision of Ezekiel, 'wheel may be in the middle of wheel', and every thing may appear complicated and involved in the apparent confusion and intricacy of an almost endless variety of causes, effects, conversions, and arrangements, yet is the most perfect regularity preserved - the whole being governed by the sovereign will of God" (p.85, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

E assim unifica toda a natureza. A força viva é uma qualidade da matéria de tal forma especial que "our existence depends upon the maintenance of the living force of the earth" (p.84).

Joule não pode senão maravilhar-se com os mecanismos da criação patentes, por exemplo, na dotação à Terra de força viva. Com efeito escreve:

"Behold, then, the wonderful arrangements of creation. The earth in its rapid motion round the sun possesses a degree of living force so vast that, if turned into the equivalent of heat, its temperature would be rendered at least 1000 times greater than that of red-hot iron, and the globe on which we tread would in all probability be rendered equal in brightness to the sun itself. And it cannot be doubted that if the course of the earth were changed so that it might fall into the sun, that body, so far from being cooled down by the contact of a comparatively cold body, would actually blaze more brightly than before in consequence of the living force with which the earth struck the sun being converted into its equivalent of heat" (p.84).

Mas se, por um lado, a nossa existência depende da permanência da força viva da Terra já a nossa segurança:

"depends in some instances upon the *conversion* of living force into heat. You have, no doubt, frequently observed what are called shooting-stars, as they appear to emerge from the dark sky of night, pursue a short and rapid course, burst, and are dissipated in shining fragments. From the velocity with which these bodies travel, there can be little doubt that they are small planets which, in the course of their revolution round the sun, are attracted and drawn to the earth. Reflect for a moment on the consequences which would ensue, if a hard meteoric stone were to strike the room in which we are assembled with a velocity sixty times as great as that of a cannon-ball. The dire effects of such a collision are effectually prevented by the atmosphere surrounding our globe, by which the velocity of the meteoric stone is checked and its living force converted into heat, which at last becomes so intense as to melt the body and dissipate it into fragments too small probably to be noticed in their fall to the ground. Hence it is that, although multitudes of shooting-stars appear every night, few meteoric stones have been found, those few corroborating the truth of our hypothesis by the marks of intense heat which they bear on their surfaces" (p.84).

Esta perplexidade, da ordem do deslumbramento, perante o funcionamento do universo é uma vivência do estado de romance e de generalização.

Das considerações ao nível astronómico Joule baixa à Terra, mantendo a mesma chama do romance:

"Descending from the planetary space and firmament to the surface of our earth, we find a vast variety of phenomena connected with the conversion of living force and heat into one another, which cannot be misunderstood of the wisdom and beneficence of the Great Architect of nature. The motion of air which we call wind arises chiefly from the intense heat of the torrid zone compared with the temperature of the temperate and frigid zones. Here we have an instance of heat being converted into the living force of currents of air. These currents of air, in their progress across the sea, lift up its waves and propel the ships; whilst in passing across the land they shake the trees and disturb every blade of grass. The waves by their violent motion, the ships by their passage through a resisting medium, and the trees by the rubbing of their branches together and the friction of their leaves against themselves and the air, each and all of them generate heat equivalent to the diminution of the living force of the air which they occasion. The heat thus restored may be repeated in endless succession and variety" (p.85).

Joule acaba o artigo discutindo a natureza do calor:

"A few words may be said, in conclusion, with respect to the real nature of heat. The most prevalent opinion, until of late, has been that it is a *substance* possessing, like all other matter, impenetrability and extension. We have, however, shown that heat can be converted into living force and into attraction through the space. It is perfectly clear, therefore, that unless matter can be converted into attraction through space, which is too absurd an idea to be entertained for a moment, the hypothesis of heat being a substance must fall to the ground" (p.85).

E mais adiante escreve:

"We may conceive, then, that the communication of heat to a body consists, in fact, in the communication of impetus, or living force, to its particles. It will perhaps appear to some of you something strange that a body apparently quiescent should in reality be the seat of motions of great rapidity; but you will observe that the bodies themselves, considered as wholes, are not supposed to be in motion"²⁵ (p.86).

²⁵ Balfour Stewart que escreveu textos de divulgação sobre a energia, nomeadamente "The Conservation of Energy" (1873), apresenta, no texto referido, um exemplo que dará verosimilhança à ideia de Joule: Imaginemos um globo-aquário de vidro contendo um grande número de peixes vermelhos, apoiado numa mesa através de rodas de forma a iniciar movimento em consequência da mais pequena impulsão. Estes peixes executam movimentos numerosos, irregulares e imprevisíveis. Temos, no entanto, uma certeza: apesar dos

E conclui:

"There is therefore reason to suppose that the particles of all bodies, their constituent atoms, are in a state of motion almost too rapid for us to conceive, for the phenomena cannot be otherwise explained" (p.86).

A admissão de aspectos tão extraordinários como este encontra, portanto, a sua justificação no poder explicativo que nos proporciona.

Como é que Joule explica a mudança de estado dos corpos, em que não há variação de temperatura, havendo, no entanto troca de energia?

"An increase of the velocity of revolution of the particles will constitute an increase of temperature, which may be distributed among the neighbouring bodies by what is called conduction - that is, on the present hypothesis, by the communication of the increased motion from the particles of one body to those of another. The velocity of the particles being further increased, they will tend to fly from each other in consequence of the centrifugal force overcoming the attraction subsisting between them. This removal of the particles from each other will constitute a new condition of the body - it will enter into the state of fusion, or become melted. But, from what we have already stated, you will perceive that, in order to remove the particles violently attracting one another asunder, the expenditure of a certain amount of living force or heat will be required" (p.86).

Assim, a transferência de calor, de acordo com Joule, será sempre transferência de força viva que dando origem a um aumento da força centrífuga poderá iniciar uma certa separação das partículas constituintes dos corpos, utilizando, para isso, alguma força viva.

Joule termina a sua lição afirmando o poder explicativo dos princípios por ele expostos (indestrutibilidade e convertibilidade das "forças"):

"I do assure you that the principles which I have very imperfectly advocated this evening may be applied very extensively in elucidating many of the abstruse as well as the simple points of science, and that patient inquiry on these grounds can hardly fail to be amply rewarded" (p.88, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

E foi isto que ele tentou ilustrar ao longo da sua exposição. Esta ideia traduzia a orientação para a sua actividade científica futura, deixando entrever um certo estilo.

5.5 Algumas Considerações Finais

Referimos no capítulo anterior a espiritualidade de Mayer e o seu estilo fenomenológico na construção das suas ideias. Tanto Mayer como Joule são afectados, primeiramente, pelo que vêem. Estão a acontecer muitas transformações na "paisagem" que não poderão deixar indiferentes todos aqueles que se interessam e se interrogam sobre a natureza.

Embora identifiquemos interesses iniciais próximos em Joule e Mayer (o fascínio pelos comboios e pelas máquinas em geral) são, com efeito, personalidades muito diferentes vivendo em contextos diametralmente opostos (vivendo um num meio altamente industrializado e o outro num meio ainda pouco afectado pela revolução industrial).

À espiritualidade de Mayer poderemos opor o materialismo de Joule tal como poderemos opor, na pintura da época, a espiritualidade de Caspar Friedrich ao materialismo de Turner²⁶, encarados do ponto de vista da ideia de energia.

Vimos como Joule persegue uma ideia de perfeição e de quão perfeita é a "sua" natureza. Heimann (1974) mostra, no seu artigo "Conversion of Forces and the Conservation of Energy", que existia na filosofia natural britânica, nos finais do século XVIII, uma ideia de natureza autosuficiente (perfeita no seu mecanismo) e unificada propícia às ideias de indestrutibilidade e de convertibilidade dos "poderes" naturais presentes em Faraday, Grove e Joule.

Vimos como o materialismo de Joule o leva a penetrar no invisível, tornando-o fortemente visível. Diferentemente de Mayer que não sente essa necessidade.

Vimos como diferentes formas de produção de conhecimento científico coexistem nesta época e mostrámos como a teoria dinâmica do calor provocou uma mudança no estilo científico de William Thomson.

²⁶ Ver texto de Serres "Turner traduit Carnot" em que Serres diz que Turner é um materialista por, como escreve J. Lechte, 1995, tornar visível o invisível (p.27) de uma forma muito material.

Capítulo 6

**A Energia em Helmholtz: uma
inteligibilidade, uma estética**

6.1 Introdução

No que diz respeito ao pensamento deste cientista faremos uma incursão ao seu texto sobre “A Conservação da Força” (1847) - considerado, por muitos, como o texto que estabelece o princípio de conservação da energia, e exploraremos dois textos de divulgação: “On the Interaction of the Natural Forces (1854) e “On the Conservation of Force (1862-63). Estes textos foram publicados em inglês por David Cahan em 1995. Neles encontraremos os ingredientes decisivos para o desenvolvimento da ideia de “Conservação da Força” sem que Helmholtz recorra ao instrumental matemático utilizado no ensaio de 1847. Daí o seu valor formativo.

A análise dos textos é enquadrada e enriquecida recorrendo aos trabalhos de D. Cahan (1993, 1995), de F. Bevilacqua (1993), de T. Kuhn (1989), I. Stengers (1997), de Heimann (1974).

6.2 Alguns dados biográficos

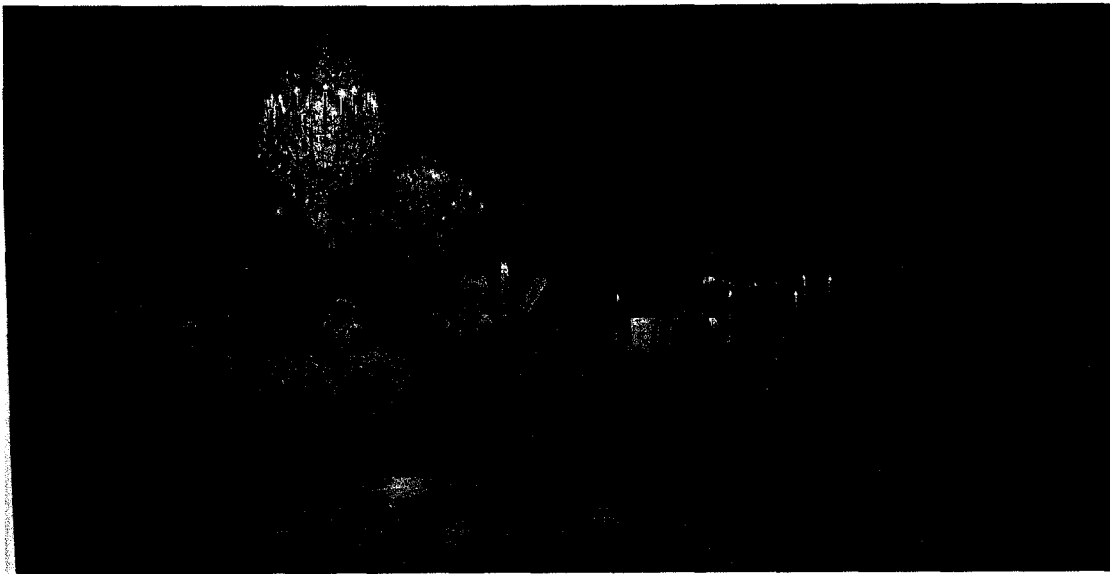


Figura 6.1 *Le Concert de flûte de Frédéric le Grand à Sanssouci*, Menzel, 1852, p.242.

“Helmholtz was the last scholar whose work, in the tradition of Leibniz, embraced all the sciences, as well as philosophy and the fine arts”

R. S. Turner em *Dictionary of Scientific Biography*, 1972, p.253.

Helmholtz (1821-1894) nasce e cresce na cidade de Potsdam que, na época, era a sede cultural do estado prussiano. Potsdam foi, por algum tempo, preservada do desenvolvimento industrial:

“Through the nineteenth century, the Prussian court deliberately sought to preserve Potsdam as an idyllic retreat, isolated from the stir of slowly industrializing Berlin. By 1833, only three steam engines could be found in Potsdam. The railroad from Potsdam to Berlin¹, Prussia’s first, opened in 1838 but was intended solely for the transport of passengers and not industrial goods. Even as late as 1858, only two firms could be found in Potsdam” (R. Kremer, 1990, p.xiv).

¹ Fonte de inspiração para a pintura de Menzel (ver p.151)

Durante a juventude de Helmholtz, Potsdam era uma cidade:

“marked by a «spirit of caste», as Helmholtz’s sister-in-law put it, deriving from its triple ties to the Prussian state as royal residence, garrison, and administrative center” (id., p.xiv).

Helmholtz frequentava os salões do grande patrocinador das artes e da vida social, Wilhelm Puhlmann, tio daquela que se tornará a sua primeira mulher - Olga von Velten:

“Wilhelm Puhlmann made his home a center of artistic, musical and social activity and undoubtedly had introduced his niece, Olga, to the young Helmholtz” (id., p.xiii).

Puhlmann era médico militar e grande amigo do pintor Menzel. Este pintor cultivava ao longo de toda a sua vida um laço muito intenso com Puhlmann (ver catálogo “Menzel - «la névrose du vrai»”). É através deste que Helmholtz conhecerá Menzel. O contacto com as artes marcará profundamente a sua visão do mundo:

“The influence of Potsdam on Helmholtz’s emerging worldview is also illustrated in his post – 1848 letters to Olga. As he travelled for the first time beyond the world of Prussia, Helmholtz was fascinated by industrial centers and their technology. He marveled at the traffic on the Rhine, was deeply impressed by the «wonderful confusion» of the London docks, and took special efforts to visit a large London brewery. The young Helmholtz was not a mandarin fearing technological advance. Yet he did find himself repulsed by the social consequences of industrialization, which he observed in crowded, dirty, unhealthy Glasgow. And he disapprovingly described Leeds as «nothing but factories and machines». In later speeches, Helmholtz would praise the application of science to German industrialization but never at the expense of German culture.

In reporting to his wife, the traveling Helmholtz paid even more attention to art than industrialization. He rarely missed an opportunity to visit art museums, theater and opera, or architectural monuments. (...) Convinced of the «deep, inner relation of art and science», Helmholtz later would study not only physiological optics and acoustics but also would range into aesthetics, undoubtedly again a legacy of his years in Potsdam” (id., p.xviii-xix).

A leitura das suas lições públicas coloca-nos em contacto com esta diversidade de interesses e com uma cultura onde foram abolidas as hierarquias entre os diferentes saberes. A estética é,

a energia em Helmholtz: uma inteligibilidade, uma estética para Helmholtz, uma dimensão essencial no desenvolvimento do pensamento. Para dar substância a esta ideia Helmholtz conta-nos, na sua Autobiografia, a seguinte história:

“But a defect of my mental organisation showed itself almost as early, in that I had a bad memory for disconnected things. The first indication of this I consider to be the difficulty I had in distinguishing between left and right; afterwards, when at school I began with languages, I had greater difficulties than others in learning words, irregular grammatical forms, and peculiar terms of expression. History as then taught to us I could scarcely master. To learn prose by heart was martyrdom. This defect has, of course, only increased, and is a vexation of my mature age.

But when I possessed small mnemotechnical methods, or merely such as are afforded by the mere rhyme of poetry, learning by heart, and the retention of what I had learnt, went on better. I easily remembered poems by great authors, but by no means so easily the somewhat artificial verses of authors of second rank. I think that is probably due to the natural flow of thought in good poems, and I am inclined to think that in this connection is to be found the essential basis of aesthetic beauty” (p.383, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Mais tarde, ao discutir sobre o valor da estética no teatro, B. Brecht (1963, escrito em 1948) dá força ao seu argumento sugerindo que nem as “ciências exactas” podem prescindir da estética:

“D’ailleurs, on pourrait même écrire aujourd’hui une esthétique des sciences exactes. Galilée parlait déjà de l’élégance de certaines formules et de la malice de l’expérimentation; Einstein attribue au sens du Beau une fonction de découverte, et l’atomiste Oppenheimer célèbre l’attitude scientifique parce qu’elle «a sa beauté et semble bien adaptée à la place que l’homme occupe sur terre»” (p.9).

O contexto em que se forma Helmholtz é, portanto, substancialmente diferente dos contextos em que se formam Mayer ou Joule. Helmholtz é um homem da cultura e vai encarar o conhecimento científico como uma forma de cultura.

Os seus gostos vão do clássico ao contemporâneo à maneira da “Biedermeiner culture”:

“He enthusiastically lauded artists popular at mid century, such as Canova, Menzel, Thorvaldsen and Lessing, as well as Old masters like Dürer, Holbein and Rembrandt” (R. Kremer, 1990, p.xix).

O seu pai era professor do ensino secundário e teve uma forte influência na sua formação, nomeadamente, no desenvolvimento do gosto por algumas discussões filosóficas.

Desde cedo Helmholtz se sente atraído pelo poder do conhecimento físico:

“As I became bigger and stronger² I went about with my father and my school fellows a great deal in the neighbourhood of my native town, Potsdam, and I acquired a great love of Nature. This is perhaps the reason why the first fragments of physics which I learned in Gymnasium engrossed me much more closely than purely geometrical and algebraical studies. Here there was a copious and multifarious region, with the mighty fulness of Nature, to be brought under the dominion of a mentally apprehended law. And, in fact, that which first fascinated me was the intellectual mastery over Nature” (Helmholtz, *An Autobiographical Sketch*, 1891, ed. Cahan em 1995, p.384, o sublinhado é nosso).

Apesar deste fascínio Helmholtz, por aconselhamento familiar, segue os seus estudos numa faculdade de medicina. Com efeito, como explica Helmholtz, um curso em Física não era encarado como uma fonte de sustento. Já que a família não era abastada, era necessário providenciar um curso que garantisse formas de subsistência. Helmholtz não se sentiu muito contrariado dada a versatilidade da sua personalidade, fascinando-se, facilmente, por qualquer forma de conhecimento:

“I was by no means averse from the study of living Nature, and assented to this without much difficulty” (id., p.385).

Quando acaba o seu curso de medicina aceita um lugar no exército como médico:

“He spent most of the years from 1843 to 1848 serving as a staff surgeon in the army in Potsdam while simultaneously managing to produce a series of important publications on physiological topics and a bold, pathbreaking essay on the conservation of force” (Cahan, 1995, p.xi).

² Helmholtz era uma criança muito frágil e passou parte da sua infância na cama. O seu gosto pela actividade mental e os objectos de que dispunha então (livros, jogos, blocos de madeira) tiveram como efeito o desenvolvimento do seu gosto pela geometria.

O ensaio sobre a “conservação da força” é escrito na fase inicial da sua carreira científica, emergindo de interrogações no âmbito da fisiologia.

No ano 1848-1849 ensina em Berlim na Academia de Arte e no Museu de Anatomia. É em 1850 que ele inicia a sua carreira académica como professor de fisiologia na Universidade de Königsberg. Passará, depois, pelas Universidades de Bonn e de Heidelberg, ingressando, em 1871, na Universidade de Berlim como professor de Física. Aí ganha um peso institucional muito forte:

“as confident of emperors and industrialists, artists and social philosophers, men of science and government officials who controlled the universities, Helmholtz also reigned as the political and even spiritual leader of the powerfull German scientific community” (Kremer, 1990, p.xi).

Em 1883 é-lhe concedido o título nobre von Helmholtz:

“the first scholar in over a century to have been raised to hereditary nobility in Prussia solely for scientific achievement” (id., p.xi).

Figura marcante do século XIX, deixou-nos um conjunto de lições brilhantes de divulgação científica e filosófica.

O início e o fim da sua carreira estão unidas pela procura de princípios unificadores:

“Like many of his romantic predecessors, Helmholtz devoted his life to seeking the great unifying principles underlying nature. His career began with one such principle, that of energy, and concluded with another, that of least action” (R. S. Turner, 1972, p.253).

Cahan (1993) define o pensamento de Helmholtz como essencialmente transdisciplinar:

“Perhaps the most striking feature of Helmholtz’s thinking was the ability to link findings within a given cognitive domain or between two or more domains. Although he helped shape several disciplines, his abiding intellectual interests were transdisciplinary in nature: what most engaged him were general problems of energy transformation, human perception, understanding nature as a mechanical system, and the foundations and limits of science itself” (p.1).

Na visão helmholtziana:

“science enabled humanity to understand its world, to enrich itself materially and aesthetically, and to unite individual human beings for the common social good” (id., p.561).

Ou seja, Helmholtz acredita no poder civilizacional da ciência³, como defende Cahan. Ao que, este historiador da ciência, acrescenta:

“he did not see that science might have anti-civilizing as well as civilizing powers” (id., p.601).

As relações entre ciência e sociedade eram, portanto, objecto das reflexões de Helmholtz. Os seus discursos em torno desta problemática granjearam-lhe aliados preciosos para o financiamento de projectos de investigação. Helmholtz representa, assim, um marco importante na valorização da actividade de investigação na universidade.

A relação entre Ciência e Arte é algo que desde sempre o inspirou e que Helmholtz acaba por unir através do exercício da imaginação:

“Hatfield concludes that for the mature Helmholtz both science and art are united in their aim of finding universal truths (the lawful or the ideal) amongst changing phenomena and that both do so above all through their use of imagination” (Cahan, 1993, p.12, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

No que diz respeito à Filosofia da Ciência praticada por Helmholtz, Cahan (1993) escreve:

“While Kant’s metaphysics of nature, with its abstract, a priori notions of force and matter as necessary general concepts of science, led the early Helmholtz to advocate metaphysical realism (i.e., that science deals with a reality hidden from human senses), in the late 1860, mainly under the influence of Michael Faraday’s empiricist views of force and matter, Helmholtz began to consider forces not as necessary abstractions hidden behind the appearances but rather as hypothetical lawful between appearances” (id.).

³ Para uma melhor compreensão desta noção remetemos para o texto de Cahan “Helmholtz and the Civilizing Power of Science”, incluído na obra “Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science”, Ed. D. Cahan. 1993

Portanto, quando Helmholtz escreve o seu famoso ensaio sobre a “Conservação da Força” (1847) está sob a influência filosófica de Kant, influência confirmada por ele próprio na sua “Autobiografia Científica”.

Vejamos, então, de perto os textos referidos na introdução.

6.3 Sobre o texto “Über die Erhaltung der Kraft”⁴, 1847.

“pour von Helmholtz la conservation de l'énergie autorise une universalisation des exigences de la mécanique, qui ne définissent plus seulement l'objet idéal de la mécanique mais les conditions d'intelligibilité de tout phénomène naturel”

I. Stengers em *Cosmopolitiques*, III, 1997, p.40-41.

Helmholtz escreve este texto quando está mergulhado nos problemas que se colocam no contexto da Fisiologia Experimental, nomeadamente, sobre a existência e sobre a refutação da “força vital”:

“The acceptance or rejection of vital forces in explaining the origins of animal heat constituted one of the fundamental problems of mid-century German physiology” (Bevilacqua, 1993, p.298).

Quando este artigo é escrito, Helmholtz está apaixonado por Olga von Velten, como testemunham as cartas que lhe escreveu em 1847⁵. As suas leituras do momento são muito diversificadas:

“while writing his 1847 essay on the conservation of force, he was reading not only Shakespeare and Dickens but also the most popular *Unterhaltungsliteratur* of the day works by Scott⁶, Sealsfield, Warren, Kotzebue, Ida Gräfin von Hahn-Hahn, and even by the well-known *Naturphilosoph*, Heinrich Steffens” (Kremer, 1990, p.xv).

É a época em que ele acumula o exercício da medicina, como médico militar, e uma actividade de investigação. A investigação por ele desenvolvida faz parte de uma estratégia de acesso ao meio universitário, já que o seu salário como médico militar não é famoso:

⁴ Utilizámos o texto em francês “Mémoire sur la conservation de la force”, traduzido por Louis Pérard e publicado por Victor Masson et Fils, Paris, 1869. Consultámos, também, uma versão incompleta em inglês incluída na colectânea de textos *Kinetic Theory*, coordenada por S. G. Brush, Pergamon Press, 1965.

⁵ Ver “Letters of Hermann von Helmholtz to his wife 1847-1859”, Ed. R. Kremer, 1990.

⁶ Vimos como Mayer se entusiasmou com este escritor. Turner, por sua vez, ilustrou alguns dos seus livros.

“His salary as a military physician was too meager to allow him to marry; from the very beginning Helmholtz saw his research as a means to secure a university position in science and thereby to escape from the remaining four years of his mandatory military service” (id., p.xvi).

Este ensaio é considerado como a formulação matemática do princípio de conservação da energia, sendo, para alguns (Elkana), considerado como o artigo que estabelece o princípio de conservação da energia. Kuhn dá o mesmo estatuto a Mayer, Joule, Colding e Helmholtz – quatro cientistas europeus amplamente dispersos que anunciaram publicamente a hipótese da conservação da energia entre 1842 e 1847 (p.101). Heimann (1974) defende que se continuarmos a olhar para o pensamento de Helmholtz com o objectivo de encontrarmos relações com o pensamento de Mayer e de Joule, passamos ao lado do problema e da metafísica que está na origem deste artigo e sugere que:

“*Über die Erhaltung der Kraft* emerged from Helmholtz’s concern with the problem of animal heat which persuaded him of the necessity of formulating a principle of the ‘constancy of force’ which would entail the denial of perpetual motion” (Heimann, 1974, p.208).

E acrescenta mais adiante:

“I will contend that whilst *Über die Erhaltung der Kraft* originally emerged from Helmholtz’s concern with physiological problems, the explication of the principle of *Erhaltung der Kraft* led Helmholtz to the enunciation of a world view more comprehensive than that of *Erhaltung der Kraft* itself: the universal mechanical view of nature. In *Über die Erhaltung der Kraft* the intelligibility and necessity of the ontology of the mechanical view of nature was supposed to be given justificatory sanction by an appeal to more general philosophical principles” (id., p.209, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Aceitar como base deste artigo a negação do movimento perpétuo deve ser encarado, por um lado, como o colmatar de uma insuficiência teórica num domínio onde essa ideia se pratica – estudo das máquinas – , por outro lado, como a resolução da controvérsia sobre a “força vital” - nos fenómenos da vida o *movimento perpétuo* era ainda uma hipótese⁷:

⁷ Vimos isso vivido por Mayer.

“Physiology offered the battleground for the fight over explaining animal heat in terms of the principle of the impossibility of perpetual motion and the consequent refusal to admit vital forces” (Bevilacqua, 1993, p.298).

O problema que dará origem a este ensaio reflecte uma influência das ideias de Liebig que:

“in 1841 had asserted a principle of correlation of forces, that is, of the conversion of forces with constant coefficients - «no force can be generated from nothing...» he averred – and who in 1842 had rejected the idea that vital forces could generate animal heat” (id., p.298).

Helmholtz conta-nos, na sua Autobiografia Científica (1891), como chega às questões que o levaram a escrever este artigo. Começa por referir o seu mal-estar, enquanto estudante, no contacto com as teorias defendidas por Stahl e aceites por muitos fisiologistas - a existência de uma “força vital” que controla, nos seres vivos, a acção das “forças” físicas e químicas; a diferença entre a acção destas “forças” na vida e na morte:

“that after death the free action of these forces produces decomposition, while during life their action is continually being controlled by the soul of life. I had a misgiving that there was something against nature in this explanation; but it took me a good deal of trouble to state my misgiving in the form of a definite question. I found ultimately, in the latter years of my career as a student, that Stahl’s theory ascribed to every living body the nature of a *perpetuum mobile*. I was tolerably well acquainted with the controversies on this latter subject. In my school days I had heard it discussed by my father and our mathematical teachers, and while still a pupil of the Friedrich Wilhelms Institut I had helped in the library, and in my spare moments had looked through the works of Daniell, Bernoulli, D’Alembert, and other mathematicians of the last century. I thus came upon the question, ‘What relations must exist between the various kinds of natural forces for a perpetual motion to be possible?’ and the further one, ‘Do those relations actually exist?’ In my essay, ‘On the Conservation of Force’, my aim was merely to give a critical investigation and arrangement of the facts for the benefit of physiologists” (p.385).

As ideias de Liebig foram inspiradas pelo trabalho de Lavoisier sobre a respiração. Com o desenvolvimento do trabalho experimental emergiram desajustes entre estas ideias e os resultados experimentais. Daí que as ideias de Liebig tenham suscitado algum criticismo, pois

não dispunha ainda daquilo que viria a constituir-se como fundamento inteligível para tais ideias: o “princípio de conservação da força”. A este respeito escreve Heimann (1974):

“Helmholtz emphasized that Liebig’s theory that respiration was the only source of animal heat was part of a general statement of the chemical principles underlying physiological processes, in which the chemical ‘force’ supplied from respiration was the source of animal heat which in turn was responsible for bodily exertion. Despite the ambiguities of the experimental evidence Helmholtz concluded in favour of the chemical theory of animal heat, for he felt that this was the only possible theory, but stated that the intelligibility of Liebig’s argument was dependent on the validity of the principle of the constancy of force. The doctrine that ‘heat as a principle...can be derived from other forces and not out of nothing’ supposed the validity of the ‘principle of the constancy of the force equivalents by the excitation of one force by another’. Helmholtz pointed out that this theory was ‘hitherto neither completely decided or acknowledge nor empirically supported, and concluded that it was necessary to provide a justification for Liebig’s principle that ‘no force, no power can come of nothing, so that forces could be transformed into one another but could be annihilated” (Heimann, p.210).

Portanto, o problema fundamental que está na raiz deste artigo é o problema do movimento perpétuo, representando, assim, uma passagem da fisiologia para a física e para a química. Helmholtz tem consciência de que a impossibilidade do movimento perpétuo já está logicamente justificado, de que já foi utilizado nas ‘teorias matemáticas’ de Sadi Carnot e Emile Clapeyron (Bevilacqua, 1993, p.301). Contudo, também é claro para Helmholtz que falta uma expressão geral a este princípio. É, pois, com espanto que ele recebe as reacções ao seu artigo. Ele esperava que o pudessem atacar por vir dizer algo que já todos sabiam, não esperava era a rejeição de que foi alvo, como ele nos conta na sua Autobiografia Científica:

“I should have been quite prepared if the experts had ultimately said, ‘We know all that. What is this young doctor thinking about, in considering himself called upon to explain it all to us so fully?’ But, to my astonishment, the physical authorities with whom I came in contact took up the matter quite differently. They were inclined to deny the correctness of the law, and in the eager contest in which they were engaged against Hegel’s Natural Philosophy were disposed to declare my essay to be a fantastical speculation. Jacobi, the mathematician, who recognised the connection of my line of thought with that of the mathematicians of the last century, was the only one who took an interest in my attempt, and protected me from being misconceived. On the other hand, I met with enthusiastic applause and practical help from my younger friends, and especially from E. Du Bois

Reymond. These, then, soon brought over to my side the members of the recently formed Physical Society of Berlin” (p.385-386).

O que é que poderá ter suscitado esta reacção, se o artigo se desenvolve numa síntese matemática onde estão incluídos todos os equivalentes mecânicos possíveis dos diferentes fenómenos conhecidos na época? De facto, o artigo tem um estilo à mecânica teórica do século XVIII, mas tem uma introdução nitidamente filosófica, o que lhe deve ter criado dificuldades. A comunidade científica tinha medo das especulações. Esta não era, no entanto, a introdução inicialmente prevista por Helmholtz. Por sugestão do seu amigo du Bois-Reymond, ele substitui a introdução inicial por outra:

“His closed friend warned him that the prevailing anti-metaphysical, even anti-theoretical, image of science held by scientists would reject not only such a philosophical introduction but the scientific paper as well” (R. S. Cohen e Y. Elkana, 1977, p.xiv).

Embora Helmholtz declare que se vai abster de qualquer comentário filosófico, tal não lhe será possível, uma vez que cognitivamente ele tem a necessidade de discutir a natureza dos “entes” que a ciência produz.

A reflexão que Helmholtz desenvolve na introdução sobre a natureza dos princípios e das leis na Ciência permite-lhe evidenciar a legitimidade de dois tipos de investigação: a teórica e a experimental. Neste sentido escreve:

“En effet, ces sciences [physiques] ont pour but de découvrir les lois d’après lesquelles les faits particuliers de la nature sont liés à des *règles générales*: ces règles étant connues, permettent à leur tour, de déterminer tous les faits particuliers.

Ces règles, telles que la loi de la *Réfraction* ou de la *Réflexion* de la lumière, celles de *Mariotte* et de *Gay-Lussac*, relatives au volume des gaz, etc., ne sont évidemment que des conceptions générales qui embrassent un ensemble de phénomènes.

La recherche de ces règles appartient à la science expérimentale, tandis que la science théorique étudie les causes inconnues à l’aide des actions sensibles, et cherche à les saisir suivant la loi de la causalité. Ces études sont justifiées et imposées par cet axiome: *Tout changement dans la nature est dû à une cause suffisante*” (Helmholtz, 1869, p.58).

E mais adiante acrescenta:

“Le but final des sciences théoriques est donc de trouver les causes constantes des phénomènes” (p.58-59).

Seguidamente, Helmholtz refere as duas entidades ontológicas no conhecimento da natureza: a matéria e a força. Sobre elas afirma:

“C’est donc un contre-sens de considérer la matière comme réelle, et la force comme une simple conception: la matière et la force sont plutôt deux attributs de la réalité, deux abstractions formées par le même procédé intellectuel. Nous ne connaissons et ne pouvons connaître que la matière active” (p.60).

Concluindo, depois, o seguinte:

“Enfin le problème des sciences physiques consiste à ramener tous les phénomènes naturels à des forces invariables, attractives et répulsives, dont l’intensité dépend de la distance des centres d’action” (id., p.62).

Esta é a crença essencial de Helmholtz: a possibilidade de reduzir todos os fenómenos a uma questão de forças centrais. Tal como ele afirma no início da introdução:

“C’est pourquoi l’auteur a tenu à s’abstenir de tout raisonnement philosophique: il a formulé ses principes sous la forme d’une hypothèse purement physique, dont les conséquences seront ensuite comparées aux lois expérimentales des divers phénomènes qui composent les différents groupes de la physique.

Deux idées peuvent être prises pour points de départ de ces principes: la première, c’est l’impossibilité d’accumuler indéfiniment du travail par les effets d’une combinaison quelconque de corps. La seconde, c’est la possibilité de ramener toutes les actions de la nature à des forces attractives et répulsives dont l’intensité ne dépend que de la distance des points qui agissent les uns sur les autres” (id., p.57).

Ao longo desta introdução é utilizada a palavra força com diferentes sentidos. Elkana defende que há uma ambiguidade inicial na noção de força, em Helmholtz, e é esta ambiguidade que é geradora de um princípio de conservação da energia. Outros autores (como Heimann, 1974) defendem que não há qualquer ambiguidade na sua utilização da palavra força, que esta é clara se atendermos ao contexto.

Com esta introdução Helmholtz prepara-nos para o valor do trabalho teórico que nos vai apresentar: ferramenta de inteligibilidade (mecanicista) dos fenómenos físicos.

Com este trabalho, Helmholtz pretende aplicar o princípio que estabelece: “l’Impossibilité de créer de rien une force motrice durable par une combinaison quelconque de corps” (id., p.65) a todos os ramos da Física. Começa por citar os trabalhos de Carnot e Clapeyron que utilizaram este princípio na demonstração teórica de algumas leis.

A grandeza que Helmholtz começa por utilizar é a noção de trabalho. Naturalmente começa a falar de trabalho produzido e de trabalho consumido. A aplicação do princípio pressuposto a um sistema de corpos em interacção (através de forças centrais) conduz à conservação da “força viva”. Helmholtz submete a medida da “força viva” à medida do trabalho, introduzindo o factor $\frac{1}{2}$. Tal facto indicia uma certa valorização da grandeza trabalho. Esta começa por ser definida por Helmholtz como mgh . Ou seja, tal como em Joule e Mayer, é o levantar de um peso a uma certa altura que nos serve de medida de comparação. Com uma diferença essencial, Joule e Mayer têm discursos nitidamente fenomenológicos enquanto que Helmholtz coloca em primeiro plano a fórmula mgh :

“La quantité de travail gagnée et dépensée est exprimée par la formule mgh , dans laquelle on désigne par h la hauteur à laquelle s’élève le poids désigné par mg , g étant l’intensité de la gravité” (id., p.66-67).

Dará, em seguida, uma formulação mais geral desta lei: A soma das energias potencial e cinética é constante para um sistema de corpos actuado por forças centrais. A esta lei Helmholtz chamou de princípio de conservação da força. Se ele mostrar que há equivalentes da “força” ao considerar os diferentes ramos da Física, terá uma unidade mecânica entre todos os fenómenos. É isso que ele pretende explicitar.

No capítulo seguinte, Helmholtz vai colocar em cena o equivalente entre a “força” e o “calor”. Para isso vai mostrar como a teoria material do calor não é mais compatível com os dados experimentais, embora considere que estes são ainda insuficientes para uma prova concludente da teoria dinâmica do “calor” (chama, nomeadamente, a atenção para os diferentes valores do equivalente mecânico encontrados por Joule⁸), o que se deve, quanto a

⁸ Desconhece o contributo de Mayer.

Bevilacqua (1993) acha estranho que Helmholtz afirma relativamente aos resultados de Joule:

ele, a uma falta de rigor nas experiências. A sua argumentação é no sentido de, através de uma visão em que “calor” é “força viva” e energia potencial dos átomos, juntar os resultados de diferentes experiências com diferentes objectivos (Joule, Carnot, Clapeyron, Hotzmann) sob a mesma interpretação mecanicista.

Continua, depois, com o mesmo procedimento de procura de equivalentes mecânicos para os fenómenos eléctricos, magnéticos e electromagnéticos. Termina com uma breve incursão a problemas fisiológicos. Conclui o texto afirmando:

“En résumé, nous croyons avoir démontré que notre loi n'est en contradiction avec aucun des faits connus de la science; et elle est confirmée au contraire par un grand nombre.

Nous nous sommes efforcé de présenter toutes les conséquences qui attendent encore leur confirmation expérimentale, et qui peuvent être déduites de la combinaison de notre principe avec les lois des phénomènes naturels connues jusqu'ici.

Le but de cette recherche servira d'excuse aux parties hypothétiques: l'auteur a voulu présenter aussi complètement que possible au physicien, la fécondité théorique et pratique de cette loi, dont la démonstration définitive peut être considérée comme un problème réservé à l'avenir le plus prochain de la science” (id., p.137).

Este artigo traduz bem uma necessidade, sentida por Helmholtz, de harmonização na interpretação dos diferentes fenómenos. Esta harmonização é realizada através da extensão de uma visão mecanicista, possível pelo comportamento causal da natureza⁹.

Contrariamente a Mayer que coloca a tónica na indestrutibilidade e convertibilidade da “força”, Helmholtz coloca a tónica numa ideia de conservação:

“His criticism of the only empirical evidence corroborating his theoretical approach is surprising” (p.321). Ao tentar entender a razão de ser para este criticismo Bevilacqua coloca a hipótese de Helmholtz Ter feito mal os cálculos ao converter as unidades do equivalente mecânico do calor (expressas por Joule em ft-lb/BTU).

⁹ Sobre a questão da causalidade em Helmholtz poderemos constatar a presença da causalidade kantiana e da causalidade leibniziana. Sobre a primeira:

“The category of causality, as a transcendental principle, then becomes one of the necessary grounds for the possibility of ‘nature’ as such, and indeed of all experience in general. Thus Kant argues that ‘the order and regularity in the appearances, which we entitle *nature*, we ourselves introduce... [the] unity of nature has to be a necessary one... [so that the] subjective grounds of [this] unity [must be] contained *a priori* in the original cognitive powers of our mind” (Heimann, 1974, p.222).

Sobre a causalidade leibniziana: “causa iguala o efeito” (natureza empírica).

“His purpose in writing the paper was to demonstrate the principle of *Erhaltung der Kraft* by a mathematical investigation of the physical quantities which were conserved. In so doing the concept of *Erhaltung der Kraft* acquired a sense additional to that in which it denoted the indestructibility and transformability of natural agents: that of the conservation of energy” (Heimann, 1974).

Enquanto que em Mayer sentimos a presença de um actor “força” na natureza, com Helmholtz a conservação da “força” é uma questão de inteligibilidade dos fenómenos.

Nas suas “Popular Scientific Lectures” encontramos os ingredientes fundamentais para o desenvolvimento da ideia de conservação da energia. Embora o artigo de 1847 tenha sido um dos primeiros na sua carreira científica, esta temática, pelas ligações que permitia estabelecer, foi valorizada ao longo dos anos através das Lições Públicas que proferiu por toda a Alemanha. São estas lições que, quanto a nós, encerram um precioso valor formativo, como passaremos a mostrar.

6.4 Sobre as “Popular Scientific Lectures”

Ao longo da nossa investigação sobre o desenvolvimento do conceito de energia, contactámos com alguns textos que podem ser incluídos na designação de “Popular Scientific Lectures”. É o caso dos textos de Helmholtz que vamos abordar. Embora um pouco mais tardias as “Popular Scientific Lectures” de Ernst Mach merecem aqui, também, alguma referência, pela complementaridade e pelos contrastes que nos permitem exhibir.

Estes textos (“Popular Scientific Lectures”) poderão, mais do que os textos científicos dos autores respectivos, tornar-se instrumentos valiosos na formação de professores. E isso porque eles valorizam a significação – queremos com isto dizer que, nesses textos, os conceitos são apresentados pelo lado da ligação, seja com o senso comum seja com outros domínios da cultura (a música e a pintura, por exemplo) – e porque nos dão a respirar “o ar dos tempos”. Se juntarmos a isso o facto de que a Física aí é muito mais do que a resolução imediata de problemas práticos, obtemos, seguramente, problemáticas interessantes, pertinentes e actuais para o contexto que nos interessa.

Tanto Helmholtz como Mach são homens de grande cultura. Nos seus textos encontramos uma riqueza e diversidade de temas, sensibilidades parecidas e filosofias diferentes.

No que diz respeito aos textos de Helmholtz, eles foram reeditados por David Cahan (1995). Na introdução a estes textos, Cahan refere que pensou em leitores com interesses variados mas que, acima de tudo, pensou nos professores:

“I have sought to provide college and university teachers with a collection of Helmholtz’s essays for classroom use. In my view, Helmholtz’s essays merit being readily available to students, both undergraduates and graduates. There is a growing movement in the United States and elsewhere today to incalculable ‘scientific literacy’ – above all among students who do not intend to become scientists or who seek to avoid the study of as much science as possible. For such students, Helmholtz’s essays offer relatively easy access to one of the most important visions of nineteenth-century science and to some of its results, while at the same time presenting his conception of science’s relationships to philosophy and society. As the titles of the essays in this volume suggest, they raise important issues about the nature of science, its purposes, methods, and its intellectual and social contexts; and they concern the scientific influences on art and on the nature of academic life. For more critical students, the essays should also raise questions about Helmholtz’s ideological attitudes toward science and toward its relationships with philosophy and society” (p.xiv, xv).

Todas estas dimensões de interesse são igualmente válidas para os textos de Mach, embora estes sejam ideologicamente diferentes dos de Helmholtz, como mostraremos.

Introduzir criticamente todas estas dimensões na formação de professores é claramente indispensável se desejarmos contribuir para o desenvolvimento de uma cultura científica.

Mas introduzir estas questões a partir de textos tão ricos e tão belos que nos ligam fortemente aos autores e à época será um autêntico acontecimento (no sentido de I. Stengers, 1995) formativo.

Se Cahan coloca a tónica na alfabetização científica, nós pensamos sobretudo naqueles que têm já uma formação científica, como os professores de ciências, mas para quem um conhecimento apenas formal não chega – falta-lhes uma compreensão, uma coerência entre os seus meios e as suas finalidades e sobretudo uma capacidade de agir.

Ao lermos estes textos não podemos deixar de evocar Palomar – personagem de Italo Calvino (1985). Palomar procurava o conhecimento do mundo exterior. E quanto mais procurava, mais se afastava do mundo e dos outros. Ele invejava aqueles que sabiam interagir com os outros, qualidade que ele, entretanto, tinha perdido. No fim (p.124), Palomar resolve esta tensão (ânsia de conhecimento do mundo exterior/relação com os outros) chegando à conclusão que não podemos conhecer nada de exterior a nós próprios passando por cima de nós próprios. Com efeito, o conhecimento não pode ignorar as sensações, os afectos.

Mach (1894) traduz, de certa forma, o pensamento de Palomar afirmando:

“We come to the understanding of much within us solely by directing our glance without, and *vice-versa*” (p.87).

Nestes textos, Helmholtz e Mach passam da física à fisiologia e à psicologia, e *vice-versa*; da artes e da literatura às ciências naturais; da natureza à sociedade.

No que diz respeito ao interesse de Helmholtz pela cognição ele utiliza, na sua Autobiografia, uma metáfora que apresenta esse interesse como necessário:

“Just as a physicist has to examine the telescope and galvanometer with which he is working; has to get a clear conception of what he can attain with them, and how they may deceive him; so, too, it seemed to me necessary to investigate likewise the capabilities of our power of thought” (p.389).

A experiência, tanto física como psicológica e social, é a chave da teoria do conhecimento nestes autores. É prodigioso poder contactar com um Mach em experientiação – sobretudo epistemológica. Contrariamente a Palomar, que tinha passado a considerar-se como um ponto

anónimo e sem corpo, tendo quase deixado de existir (p.116), Mach existe plenamente em tudo o que nos dá a ver.

Helmholtz, Mach e as “Popular Scientific Lectures”

O percurso intelectual de Mach foi, essencialmente, ditado por uma necessidade didáctica, afirma Blüh (1970). Nesse sentido, Blüh especifica que o pensamento de Mach emerge essencialmente de uma necessidade de clarificação didáctica e que isso o lança na procura dos limites da capacidade intelectual do homem para se compreender a si próprio e para compreender o mundo (p.2). Esta procura conduziu-o a uma abordagem crítica da física. Com efeito, Mach pretendia escrever não como um historiador da ciência, mas como um físico crítico cujo trabalho se desenvolve com uma intenção didáctica¹⁰ (id., p.11).

Podemos testemunhar o valor destas ideias lendo os textos de Mach. Aí encontramos uma sensibilidade didáctica sofisticada: não é de admirar, portanto, que sejamos tomados por uma forte emoção aquando da sua leitura.

Quanto à qualidade dos seus cursos, temos as palavras do célebre William James que veio visitar Mach a Praga em 1882. Como nos conta G. Holton (1993, p.45), James ficou muito impressionado com este encontro. Confirmação deste facto existe numa carta que, então, escreve à sua mulher - esta tinha ficado nos Estados Unidos da América - onde lhe conta que tinha assistido a um curso de mecânica leccionado por Mach, qualificando-o como “the most artistic lecture I have heard”. James relata, na mesma carta, o prazer das quatro horas de conversa que manteve com Mach. Este provocou em James uma impressão de génio intelectual, que parecia ter lido tudo.

Esta impressão de homem de grande cultura experimentamo-la na leitura dos textos das suas lições públicas.

Mach procurou um ponto de vista especial que persistisse quando mudasse de campo de investigação. Este ponto de vista encontra-o ele nas sensações:

“I, too, regard sense impressions as the source of all experience, but I do not believe that they should be consigned to oblivion again as soon as physical concepts have been formed; I ascribe a higher value to them, as a link between physics and the other sciences” (Physical Reality, 1970, p.37).

¹⁰ Estas ideias ajudaram-nos a encontrar a nossa via de utilização da construção histórica do conhecimento científico.

A sua abordagem fenomenológica levou-o a negar a realidade dos átomos. Tal facto levou-o a participar em acesas polémicas, algumas muito agressivas – como é o caso da polémica com Planck (parte terceira). Neste caso Mach foi um perdedor.

Se procurarmos para Helmholtz (1821-1894) o motor do seu pensamento, não o encontraremos na didáctica. A este propósito temos o testemunho de Planck que nos conta, na sua *Autobiografia Científica*:

“Nous avons l'impression que son enseignement l'ennuyait pour le moins autant que nous. Il arriva que ses cours furent de plus en plus désertés, et finalement trois étudiants seuls les suivirent” (p.69).

No entanto, os textos das suas lições públicas são claros, elegantes e interessantes, aspectos estes sustentados por uma grande cultura. Qual era então o seu “interesse”? De acordo com Cahan (1993), o que movia Helmholtz era uma necessidade de mostrar ao poder político e à sociedade em geral o «poder civilizacional da ciência». As suas conferências tiveram grande efeito sobre a elite cultural alemã. Disso nos dá conta Cahan (1995):

“And for many in the educated world during the second half of the nineteenth century, science and its relations with philosophy, culture, and society was what Helmholtz claimed it to be” (p.xiv).

A este “poder civilizacional da ciência” se opõe Mach como um crítico da civilização científica (ideia defendida por Blüh). Com efeito, a sua visão crítica, sempre activa, leva-o, por exemplo, a falar das máquinas e da submissão dos homens¹¹, dos malefícios do progresso e das suas consequências para a natureza (ver *Connaissance et Erreur*, 1908, p.93).

As *Popular Scientific Lectures* destes dois cientistas são recolhas de textos referentes a conferências proferidas ao longo de vários anos. No caso da edição de Cahan dos textos de Helmholtz o período coberto vai de 1853 a 1892. A primeira publicação de textos referentes a conferências foi em 1865. A primeira publicação em inglês foi em 1873. Novas publicações se seguiram nos anos 70, 80 e 90.

¹¹ Mach utiliza o termo mais forte de escravatura em vez de submissão.

Os textos de Mach referem-se a conferências realizadas entre 1864 e 1898. A primeira publicação foi realizada em 1894, em inglês em 1898. Seguem-se, depois, várias edições.

Estas conferências traduzem respostas a convites particulares no tratamento de temáticas muito diversificadas. Contrariamente ao que a designação destas conferências leva a supor, elas dirigem-se a uma elite social: aos homens e mulheres cultos da época, embora não especialistas das matérias em questão.

Há, nestas obras duas dimensões, por entre muitas outras, que merecem, no quadro dos nossos interesses, ser explicitadas. Pensamos, concretamente em:

“the *charm* and the *poetry* of research [that] can be conveyed by them” (Mach, 1894, Prefácio)

e em:

“such lectures can exercise a favorable influence by showing the substantial sameness of scientific and every-day thought” (id.).

Quando ele fala de “charm and poetry of research” refere-se a tudo o que ganhamos com a procura da solução a um problema:

“what broad domains of fact can be illuminated by the light radiating from the solution of a single and oftentimes unobtrusive point” (id.).

É o que se passa, por exemplo, no texto espantoso “Why has man two eyes?”. Munido com esta questão leva-nos a passear numa floresta e a contemplar algumas das suas representações picturais. Aí passamos da história da pintura à estereoscopia, desta aos “dois olhos da educação” (a ciência e as humanidades) sem esquecer uma crítica pertinente a um ensino das ciências castrador:

“I once knew a professor who would shut with horror the mouths of his pupils if they put him such an unscientific question” (id., p.66).

O prazer que se sente na leitura destes textos faz deles instrumentos formativos – no sentido que temos vindo a defender – importantes. Este prazer resulta da clareza que os conceitos aí adquirem, da pertinência das questões colocadas, das ligações forjadas, e das belas imagens utilizadas. Eles são a concretização do “romance” e da “generalização”.

O mesmo se pode dizer dos textos de Helmholtz. A poesia está presente quando, por exemplo, ele passa do prazer de ouvir música à física e à fisiologia do som para terminar em considerações sobre o valor dos produtos artísticos (p.75). Aí, o “olhar estrangeiro” da física permite evidenciar a singularidade do efeito artístico:

“Thus both harmony and dysharmony alternately urge and moderate the flow of tones, while the mind sees in their immaterial motion an image of its own perpetually streaming thoughts and moods. Just as in the rolling ocean, this movement, rhythmically repeated, and yet ever varying, rivets our attention and hurries us along. But whereas in the sea, blind physical forces alone are at work, and hence the final impression on the spectator’s mind is nothing but solitude – in a musical work of art the movement follows the outflow of the artist’s own emotions. Now gently gliding, now gracefully leaping, now violently stirred, penetrated or laboriously contending with the natural expression of passion, the stream of sound, in primitive vivacity, bears over into the hearer’s soul unimagined moods which the artist has overheard from his own, and finally raises him up to that repose of everlasting beauty, of which God has allowed but few of his elect favourites to be the heralds” (p.75).

Quanto à ligação entre pensamento científico e “pensamento de todos os dias” Mach (1911) pretende evidenciar uma semelhança de base:

“If we call to remembrance our early youth, we find that the conception of causality was there very clearly, but not the correct and fortunate application of it. In my own case, for example – I remember this exactly – there was a turning-point in my fifth year. Up to that time I represented to myself everything which I did not understand – a pianoforte, for instance – as simply a motley assemblage of the most wonderful things, to which I ascribed the sound of the notes. That the pressed key struck the cord with the hammer did not occur me. Then one day I saw how the cogs on the axle engaged with the cogs which drive the mill-stones, how one tooth pushed on the other; and from that time on, it became quite clear to me that all is not connected with all, but that, under circumstances, there is a choice” (*History and roots of the principle of the conservation of energy*, p.64-65).

Para Mach a evolução no conhecimento corresponde ao desenvolvimento da habilidade de aplicação da lei da causalidade. A chave deste desenvolvimento está na experiência. Sem experiência, diz Mach, a lei da causalidade é vazia e estéril. A ciência tem a particularidade de

ir alargando os domínios da experiência. Vivemos mergulhados num mar de fenómenos e desde cedo começamos a ser capazes de colocar boas questões,

“lembramo-nos, então, de Duras a contar a pergunta daquela criança a quem tinham dito que o calor é aquilo que a gente sente quando sente que uma coisa está quente, e ela, a criança perguntava: «E o que é o calor quando não há ninguém?»” (Prado Coelho, Público, 16 de Março de 1996).

Na vida de todos os dias são os contrastes, as mudanças de contexto, que são motores da produção de conhecimento:

“Things at home are passed by unnoticed, delight us when abroad, though they may appear in only slightly different forms. The sun shines with heightened radiance, the flowers bloom in brighter colors, our fellow-men accost us with lighter and happier looks. And, returning home, we find even the old familiar scenes more inspiring and suggestive than before.

Every motive that prompts and stimulates us to modify and transform our thoughts, proceeds from what is new, uncommon, and not understood. Novelty excites wonder in persons whose fixed habits of thought are shaken and disarranged by what they see. But the element of wonder never lies in the phenomenon or event observed; its place is in the person observing” (*Popular Scientific Lectures*, p.224, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Esta ideia de que o motor de transformação do pensamento é o contacto com a novidade está presente na noção de “flying classroom” que desenvolvemos. Mach aplica esta mesma ideia a outros contextos, nomeadamente ao conhecimento científico. Também este evolui por efeito do “method of change”.

“It is through change of circumstances that the natural philosopher learns. This process, however, is by no means confined to the investigator of nature. The historian, the philosopher, the jurist, the mathematician, the artist, the aesthetician, all illuminate and unfold their ideas by producing from the rich treasures of memory similar, but different, cases; thus they observe and experiment in their thoughts” (id., p.230).

Parece-nos bastante profícuo este método. Ele estava já presente quando Mayer defende que é preciso “aprender a conhecer os fenómenos”. Ele está, também, presente na famosa metáfora

de Vygotsky, com base numa frase de Goethe: todos aqueles que não conhecem uma língua estrangeira não sabem nada sobre a sua própria língua.

Da mesma forma Helmholtz valoriza a reflexão sobre o método de produção de conhecimento. Apesar das diferenças entre os dois homens podemos encontrar pontos comuns, nomeadamente na importância dada à experiência em todos os domínios – aspecto que permite estabelecer pontes com o desenvolvimento do pensamento na vida de todos os dias.

Estas ideias parecem-nos de grande actualidade. Pensemos, por exemplo, no que escreve F. Varela a propósito da cognição:

“le contexte et le sens commun ne sont pas des artefacts résiduels pouvant être progressivement éliminés grâce à des règles plus sophistiquées. Ils sont en fait l’essence même de la cognition créatrice” (Connaître, p.98).

O senso comum é, assim, encarado como a base de toda a cognição, contendo em si a riqueza da nossa história física e social.

O desenvolvimento conceptual – o caso da energia

Através destes textos poderemos apreciar o impacto cultural da noção de energia. Com efeito, proliferam as referências à energia, mesmo quando são tratadas temáticas filosóficas ou estéticas. Tal facto traduz a boa aceitação e o interesse do público no que diz respeito a esta noção. Tendo Helmholtz sido um dos protagonistas da construção da conservação da energia, é com muito interesse que seguimos a forma como ele expõe esta ideia ao grande público. Vimos como o seu texto de 1847 é um texto teórico. As suas lições públicas exploram o conteúdo empírico que esteve na origem deste princípio. Com efeito, na sua conferência de 1862, *A Conservação da Força*, Helmholtz apresenta-nos diferentes máquinas, conhecidas na época, para colocar em evidência as conversões de energia. Ele utiliza, por exemplo a máquina electromagnética (ver figura 4.9, p.255), muito utilizada por Faraday, para evidenciar a conversão de energia mecânica em energia química – sentido inverso

a energia em Helmholtz: uma inteligibilidade, uma estética relativamente à máquina a vapor onde se parte de energia química para se obter energia mecânica.

O ar dos tempos

No seu texto “Exposition Elementar da Transformação das Forças Naturais” (1854), traduzido em língua francesa em 1869, Helmholtz introduz a noção de trabalho e a problemática do movimento perpétuo fazendo apelo aos autómatos tão divulgados e apreciados na parte final do século dezoito, princípios do século dezanove (ver figura 6.2):



Figura 6.2 Pianista de Jacques Droz
(Neuchâtel, Museu Histórico)

“Vaucanson émerveilla son siècle avec son canard qui mangeait et digérait; avec son joueur de flûte qui remuait très-correctement les doigts; Droz ainé, avec son jeune homme qui écrivait, et Droz jeune, avec sa pianiste, dont les yeux surveillaient le doigté, et qui à la fin de son exécution, saluait gracieusement l’assistance. (...) On aurait peine à comprendre qu’ils auraient dépensé une si grande somme de temps et de peine, une perspicacité si extraordinaire, pour construire ces automates, s’ils n’avaient pas très-sérieusement espéré pouvoir résoudre un problème que nous regardons aujourd’hui comme puéril” (p.6).

E Helmholtz continua:

“cette tendance à imiter les créatures vivantes paraît avoir donné naissance à une idée analogue à celle de la Pierre Philosophale, qui avait tant occupé le dix-septième et le dix-huitième siècle: à l’idée du Mouvement Perpétuel” (p.7).

Embora a mecânica racional tivesse já estabelecido, no seu domínio, a impossibilidade de movimento perpétuo o domínio da vida continuava ainda a acarinhar a ideia de movimento perpétuo:

“l’homme et les animaux ne sont-ils pas la réalisation de cette idée, puisqu’ils se meuvent avec force et persistance, tout le temps de leur vie, sans que personne les remonte ou les aide à se mouvoir? On n’avait pas alors la moindre notion exacte de la corrélation qui existe entre l’alimentation et le déploiement. (...) On croyait que la création spontanée de la force était la plus essentielle, la vraie quintessence de la vie organique; en sorte que pour imiter l’homme, il fallait d’abord trouver le mouvement perpétuel (p.8).

O bailado Copélia (1870; Léo Delibes), baseado num conto de Hoffman (1776-1822) traduz bem esta obsessão.

Helmholtz transporta-nos, deste modo, para uma época onde há domínios em que a ideia de movimento perpétuo ainda é pertinente. Como vimos, relativamente ao seu texto de 1847, a questão do movimento perpétuo está na base do desenvolvimento das suas ideias.

A clareza conceptual

Os dois autores pretendiam apresentar o princípio de conservação da energia de uma forma significativa evidenciando, nomeadamente, o seu valor epistemológico. Como ser claro se se quer atingir um público vasto? A resposta foi encontrada nas abordagens históricas que os dois utilizaram e que Mach assumiu como a única via possível para a compreensão do conhecimento:

“There are two ways of reconciling oneself with actuality: either one grows accustomed to the puzzles and they trouble one no more, or one learns to understand them by the help of history and to consider them calmly from that point of view.

Quite analogous difficulties lie in wait for us when we go to school and take up more advanced studies, when propositions which have often cost several thousand years’ labour of thought are represented to us as self-evident. Here too there is only one way to enlightenment: historical studies” (Mach, 1911, em *History and Roots of the Principle of the Conservation of Energy*, p. 16, o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Mas este caminho não é apenas indicado para as aprendizagens escolares, ele deve fazer parte da formação do especialista:

“Indeed there is, for the investigator of nature, a special classical education which consists in the knowledge of the historical development of his science.

(...) History has made all, history can alter all” (id., p.18).

A abordagem de Mach continua a ser muito pertinente e ela será desenvolvida no capítulo 10. Como veremos ele põe em cena uma história da ciência com um carácter histórico. O desenvolvimento dos conceitos é o reflexo de acontecimentos históricos que levam por uns caminhos preferencialmente a outros. É o que ele mostra relativamente ao desenvolvimento da medida do “calor”:

“We can know only from *experience* that mechanical processes produce other physical transformations, or *vice versa*. The attention was first directed to the connexion of mechanical processes, especially the performance of work, with changes of thermal conditions by the invention of the steam-engine, and by its great technical importance. Technical interests and the need of scientific lucidity meeting in the mind of S. Carnot led to remarkable development from which thermodynamics flowed. It is simply an *accident of history* that the development in question was not connected with the practical applications of *electricity*” (Mach em *Popular Scientific Lectures*, 1986, p.161).

Estamos aqui perante uma concepção histórica da história das ciências contrária à noção ahistórica dos manuais científicos. Boa oportunidade para discutir esta questão e valorizar a singularidade do conhecimento científico. Mach e Helmholtz permitem-nos alimentar esta questão já que a incursão histórica de Helmholtz é substancialmente diferente da de Mach. Na verdade, Helmholtz apenas está interessado em contar uma boa história e não em a problematizar. A narrativa de Helmholtz, nestes textos, tem a finalidade de agarrar o seu público, ela é da ordem do “romance”.

A abordagem de Mach ao conceito científico de energia começa assim:

“The most multifarious physical changes, thermal, electrical, chemical, and so forth, can be brought about by mechanical work: When such alterations are reversed they yield anew the mechanical work in exactly the quantity which was required for the production of the part reversed. This is the *principle of the conservation of energy*; «energy» being the term which has gradually come into use for that «indestructible something» of which the measure is mechanical *work*” (id., p.139).

Evidentemente que ele não pode ficar satisfeito com isto, nós também não. Continua, então, colocando a questão de saber como se chegou a esta ideia e de saber quais são as suas raízes. É dessa forma que a temática se vai tornar interessante. Como veremos no capítulo 10, Mach vai integrar a diversidade de opiniões sobre a interpretação dos fundamentos da conservação

da energia, fazendo-os cooperar, e acrescentando-lhes mais alguns ingredientes, para a sua própria interpretação:

“The opinions which are held concerning the foundations of the law of energy still diverge very widely from one another. Many trace the principle to the impossibility of a perpetual motion, which they regard either as sufficiently proved by experience, or as self-evident. (...)

Others inquirers, however, are for accepting only a purely *experimental* establishment of the law of energy.

It will appear, from the discussion to follow, that *all* the factors mentioned have co-operated in the development of the view in question; but that in addition to them a logical and purely formal factor, hitherto little considered, has also played a very important part” (id., pp.139-140).

O texto de Helmholtz pretende dar a dimensão generalista da conservação da energia:

“Notre principe général nous permet de contempler le monde dans toutes les directions et de choisir celle qui nous intéresse le plus” (Hemholtz em *De la Transformation des Forces*, p.29).

Ele passa de “nos petits laboratoires de physique, de nos mesquines relations et de nos abstractions compliquées” ao espaço celeste, às nuvens, aos rios, aos seres vivos. Isso lembramos Jon Ogborn (1989) quando ele reivindica que falar de energia é também falar das flores e da vida em geral.

A sua abordagem histórica, neste texto, situa-se no primeiro grupo mencionado por Mach. Com efeito, ele coloca a ênfase na ideia de impossibilidade de movimento perpétuo:

“en se fondant sur l'impossibilité du mouvement perpétuel, on chercha quelles doivent être les relations entre les forces naturelles?

Ce renversement de la question était un grand pas: car en formulant l'impossibilité du Mouvement Perpétuel, il devenait facile d'établir complètement les relations qui doivent nécessairement exister entre les forces de la nature; et l'on trouva que toutes ces relations s'unissent aux conséquences de cette proposition.

“On découvrit en même temps une suite de propositions encore inconnues, dont l'expérience devait démontrer l'exactitude. Si une seule de ces propositions avait été démontrée inexacte, c'est que le Mouvement Perpétuel était possible” (id., p.22).

Esta generalização da exclusão do movimento perpétuo à diversidade das transformações na natureza ia ao encontro de uma convicção mecanicista – “les lois de la mécanique physique”, afirmava Helmholtz, “sont les télescopes de notre intelligence, qui nous permettent de voir clair dans la nuit la plus sombre du passé et de l’avenir” (id., p.51). Aspirando o mecanicista a reduzir todos os fenómenos aos fenómenos mecânicos e tendo a mecânica excluído a possibilidade de movimento perpétuo, a ideia de estender esta exclusão a qualquer tipo de fenómeno parece quase natural. Ela só foi, no entanto, “natural” por ter existido um Carnot. Ora, do ponto de vista de Mach,

“The principle of excluded perpetual motion is thus no new discovery; it has been the guiding idea, for three hundred years, of all the great inquirers” (Mach em *Popular Scientific Lectures*, p.155).

Contrariamente a Mach, Helmholtz encara o desenvolvimento da ciência como um caminho na direcção da Verdade. Nesse sentido, o caminho não poderia ter sido outro.

A noção de trabalho ocupa um lugar importante nos textos destes dois cientistas. A forma como Helmholtz introduz a noção de trabalho é pedagogicamente muito interessante. Na verdade, ele introduz uma continuidade que contrasta com a ruptura didáctica que Vatin viveu e disso dá o seu testemunho - transcrito na página 162:

“Cette notion du Travail s'est évidemment transportée aux machines, lorsque l'on a comparé leurs fonctions à celles des hommes et des animaux qu'elles devaient remplacer. Aujourd'hui encore le travail des machines est évalué en force de cheval.

La valeur du travail de l'homme est déterminée, soit d'après le déploiement de force correspondant au labeur, et alors c'est tout simplement l'ouvrier le plus robuste qui est le plus apprécié; soit d'après l'habileté qu'exige la tâche. Dans ce dernier cas, l'appréciation est moins simple: on ne trouve pas, d'un moment à l'autre, un nombre quelconque de travailleurs habiles, instruits, possédant un certain talent, fruit de l'éducation, du temps et des soins.

Au contraire, une machine capable de bien exécuter un certain travail peut toujours être multipliée en nombreux exemplaires (...).

Le travail des machines est donc défini par la seule considération de la force. Cette remarque est d'autant plus importante, que la plupart des machines sont réellement à surpasser l'homme et les animaux par la grandeur de leurs effets.

Ainsi dans ce qui va suivre, l'idée du travail est liée à celle de la force, c'est à dire que nous donnons à cette idée sa signification vraiment mécanique. Il s'agit maintenant de mesurer la force de manière à rendre les diverses machines comparables. Pour cela, nous

ne pouvons éviter de traverser le champ un peu aride de la Mécanique; mais ce sera pour nous élever à un point de vue d'où s'ouvrira pour nous un horizon tellement large et beau, que nous serons bien dédommagés de nos peines" (Helmholtz, 1869, p.9,10).

Que belo texto! Comparemo-lo com alguns manuais escolares que, recorrendo a uma autoridade didáctica, começam por impor um conceito completamente cortado daquilo que o poderia tornar interessante. No livro *Le Travail – Economie et Physique 1780-1830*, Vatin (1993) desenvolve a história da noção de trabalho mostrando as relações entre mecânica racional, a engenharia e a economia. O termo fixa-se no contexto científico em 1829:

“L’introduction «officielle du concept de travail dans le glossaire des termes physiques par Coriolis en 1829 constituait ainsi le terme d’une longue élaboration théorique qui devait autant à l’économie qu’à la physique” (p.6).

O saber teórico e o saber prático convergem na elaboração deste conceito, o que o torna muito estimulante:

“Il n’est pas possible toutefois d’ignorer l’élaboration parallèle au savoir mécanique pratique d’une science abstraite: la «mécanique rationnelle». Cette science physico-mathématique se développe du XVIIe au XIXe siècle, disons de Galilée à Lagrange, simultanément et corrélativement à la science des machines. Il s’agit d’une science «pure» aux antipodes du savoir empirique des ingénieurs, tant du point de vue du project que de celui des méthodes. Le projet n’est plus la conception et l’usage des machines, mais la connaissance du monde. La compréhension des forces et des mouvements est exploitée, non sur les artefacts que sont les machines, produits de l’art humain, mais sur l’univers naturel” (id., p.12).

Helmholtz dá-nos a saborear estas diferenças e esta riqueza.

6.5 Algumas considerações finais

O texto de Helmholtz de 1847 foi, tal como aconteceu com Mayer e com Joule, mal acolhido nos meios científicos. Helmholtz teve, no entanto, a sorte de existir uma comunidade de jovens físicos, matemáticos e fisiologistas que acabavam de fundar, em Berlim, a Sociedade de Física. Aí, como afirma Ostwald (1937), as suas ideias foram adoptadas com entusiasmo (p.83). Todos estes cientistas tiveram de enfrentar resistências variadas por razões diversas. As suas histórias são substancialmente diferentes mas há uma intensa ligação à temática em todos eles.

Helmholtz, com as suas lições públicas, faz-nos aceder às ideias que estiveram presentes no seu texto teórico de 1847 ao mesmo tempo que nos faz aceder a todo um conjunto de outras ideias de diferentes domínios, trazendo até nós toda a sua cultura. O pensamento torna-se apaixonante quando conseguimos estabelecer ligações, é a fruição da “generalização”. Estes textos testemunham isso.

Capítulo 7

Lavoisier – Feynman: “tão longe, tão perto”

Lavoisier: uma estética, uma medida

Feynman: uma medida abstracta, uma
fabricação intelectual espantosa

7.1 Introdução

Neste capítulo abordaremos, essencialmente, o texto de Lavoisier e Seguin sobre a respiração dos animais - que tão bem traduz a procura de uma medida comum para situações tão diversas como sejam o pedalar e a leitura de um texto – e o texto de Feynman sobre “Os grandes princípios de conservação”. Seguin e Lavoisier desenvolvem uma encenação tal que o acto de medir nos coloca em contacto com a harmonia da natureza. Esta, leva-nos, necessariamente, a contrastar com as leis imperfeitas do Homem.

Mayer e Helmholtz são os herdeiros naturais de Lavoisier. Os seus trabalhos começam no âmbito da problemática da origem do calor animal. Vimos como Mayer foi um leitor de Lavoisier.

Utilizámos o texto publicado nas *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1789, pp.688-703: “Premier Mémoire Sur la Respiration des Animaux” par Seguin¹ et Lavoisier.

Feynman emerge, neste capítulo, por contraste.

Lavoisier e Seguin ainda não dispõem de um conceito de energia – estamos em pleno reinado do “calórico” – mas a necessidade de uma medida comum para situações tão diferentes já é plenamente sentida.

Feynman dispõe de uma noção de energia, que fez todo um caminho desde meados do século dezanove. Para este autor trata-se de uma mera medida abstracta (diferente da abstracção de Planck que se refere a uma realidade inacessível, como veremos) operacional.

¹ Seguin era médico e disponibilizou-se para as experiências difíceis e perigosas que Lavoisier pretendia levar a cabo.

7.2 A respiração dos animais interpretada por Seguin e Lavoisier - uma “premonição” do conceito de energia?

“Respira – n’aura que entre as flores gira

Celeste – incenso perfume agreste”

Garrett (1799-1854) em *Os Cinco Sentidos*



Figura 7.1 *Expériences sur la respiration. Sépia de Mme Lavoisier em Lavoisier, B. Bensaude-Vincent (1993)*

Como mote para a interpretação significativa deste texto temos a frase de I. Stengers:

“A possibilidade de uma medida geral, neutra relativamente às diferenças qualitativas, aparece desde o trabalho que viria a inspirar Helmholtz e Mayer: o trabalho de Lavoisier e Seguin sobre a respiração” (p.174).

Este texto começa por nos dar informação sobre o estado actual dos conhecimentos no que se refere à natureza do calórico, à constituição do ar, da água, do gás carbónico (ar fixo), do ar vital (oxigénio). Compara ainda os conteúdos de calórico do ar vital e do gás carbónico:

“Qu’il entre moins de calorique dans la composition d’un volume donné de gaz acide carbonique que dans un pareil volume d’air vital, et que c’est par cette raison qu’il se dégage du calorique pendant la combustion du carbone, c’est-à-dire pendant la conversion de l’air vital en acide carbonique par l’addition du carbone” (p.689).

Os contributos anteriores de Lavoisier sobre as semelhanças entre a respiração, a combustão e a oxidação (“il fit voir que dans toutes il y a décomposition de l’air vital contenu dans l’air atmosphérique et dégagement d’une portion de son calorique spécifique”, p.690), de Seguin sobre mecanismos de análise do ar, complementados com os trabalhos de Lavoisier e Laplace foram os elementos essenciais para a elaboração de uma nova problemática. Mais do que o conhecimento sobre os mecanismos da respiração o que está aqui em jogo é a procura de uma “balança” conceptual que possa ser aplicada a fenómenos em que os protagonistas não são materiais. Esta “balança” conceptual torna-se realizável através da quantificação da respiração. Para isso há que colocar em cena todo um conjunto de procedimentos experimentais que permitam as medições necessárias (figura 7.1).

Fazendo a síntese de alguns destes conhecimentos estes autores escrevem:

“En partant des connaissances acquises, et en nous réduisant à des idées simples, que chacun puisse facilement saisir, nous dirons d’abord, en général, que la respiration n’est qu’une combustion lente de carbone et d’hydrogène, qui est semblable en tout à celle qui s’opère dans une lampe ou dans une bougie allumée, et que, sous ce point de vue, les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consomment.

Dans la respiration, comme dans la combustion, c’est l’air de l’atmosphère qui fournit l’oxygène et le calorique; mais, comme dans la respiration c’est la substance même de l’animal, c’est le sang qui fournit le combustible, si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu’ils perdent par la respiration, l’huile manquerait bientôt à la lampe, et l’animal périrait, comme une lampe s’éteint lorsqu’elle manque de nourriture” (p.691).

E concluem mais adiante:

“il en résulte que l’effet de la respiration est d’extraire du sang une portion de son calorique spécifique, qui, pendant la circulation, se distribue avec le sang dans toutes les parties de l’économie animal, et entretient cette température à peu près constante qu’on observe dans tous les animaux qui respirent” (p.692).

Segue-se, depois, a descrição e a interpretação de uma série de experiências levadas a cabo por estes cientistas com porquinhos-da-índia. O primeiro aspecto a salientar é a preocupação

manifestada sobre o bem estar dos animais. Foram tomadas todas as precauções necessárias. Estas experiências permitiram concluir sobre uma diferença essencial relativamente à combustão. Esta acelera-se com o aumento de conteúdo de oxigénio da atmosfera em que ocorre, enquanto que nada acontece com a respiração dos animais:

“On avait toujours pensé qu’il en était de même de la respiration; qu’elle devait s’accélérer dans l’air vital, et qu’alors il devait se dégager, soit dans le poumon, soit dans le cours de la circulation une plus grande quantité de calorique. Mais l’expérience a détruit toutes ces opinions, qui n’étaient fondées que sur l’analogie” (p.694).

E continuam, mais adiante:

“Ces premières expériences donnaient déjà des idées générales sur la respiration; nous avions même entrevu qu’elle s’accélérait pendant la digestion, et que les animaux consumaient alors une plus grande quantité d’air. Nous avons également aperçu que le mouvement et l’agitation augmentaient encore ces effets; mais nous étions loin encore du but que nous nous étions proposé d’atteindre, et d’ailleurs, après avoir opéré sur des animaux, nous désirions faire des applications plus particulières à ce qui se passe dans la respiration humaine” (p.695).

Chegam, assim, à parte essencial deste trabalho. Todo este trajecto não é meramente técnico. Com efeito, quando apelam à analogia entre combustão e respiração não deixam de evocar o conhecimento dos poetas e dos filósofos da antiguidade:

“On dirait que cette analogie qui existe entre la combustion et la respiration n’avait point échappé aux poètes, ou plutôt aux philosophes de l’antiquité, dont ils étaient les interprètes et les organes. Ce feu dérobé du ciel, ce flambeau de Prométhée, ne présente pas seulement une idée ingénieuse et poétique, c’est la peinture fidèle des opérations de la nature, du moins pour les animaux qui respirent: on peut donc dire, avec les anciens, que le flambeau de la vie s’allume au moment où l’enfant respire pour la première fois, et qu’il ne s’éteint qu’à sa mort.

En considérant des rapports si heureux, on serait tenté de croire qu’en effet les anciens avaient pénétré plus avant que nous ne le pensons dans le sanctuaire des connaissances, et que la fable n’est véritablement qu’une allégorie, sous laquelle ils cachaient les grandes vérités de la médecine et de la physique” (p.692).

Estes aspectos emotivos da escrita aproximam-se muito da escrita de Mayer. Na verdade, ao lermos este artigo vemos Mayer não só como o herdeiro da ideia essencial deste artigo mas também como herdeiro de uma forma de expressão.

A parte deste trabalho que nos interessa verdadeiramente é a que começa com as experiências sobre a respiração nos humanos. Não é a descrição deste mecanismo que nos importa mas sim a encenação fascinante do processo de medida.

E a dramatização começa com a exibição, perante a Academia, dos aparelhos utilizados (ver figura 7.1), com a linguagem utilizada (quando, por exemplo escrevem: “c’est une chose vraiment admirable que ce résultat de forces continuellement variables et continuellement en équilibre qui s’observent à chaque pas dans l’économie animale, et qui permettent à l’individu de se prêter à toutes les circonstances où le hasard le place”, p.699, o sublinhado é da nossa responsabilidade) e com a tensão do perigo associado a este conjunto de experiências:

“Quelques pénibles, quelques désagréables, quelques dangereuses même que fussent les expériences auxquelles il fallait se livrer, M. Seguin a désiré qu’elles se fissent toutes sur lui-même. Nous les avons répétées un grand nombre de fois, et la précision des résultats a presque toujours été au delà de nos espérances” (p.695).

Evitando a descrição detalhada destas experiências, que remetem para outro momento para não perderem a tensão criada, passam à apresentação dos resultados:

“Il résulte des expériences auxquelles M. Seguin s’est soumis qu’un homme à jeun et dans un état de repos, et dans une température de 26 degrés de thermomètre à mercure, divisé en 80 parties, consomme par heure 1210 pouces d’air vital; que cette consommation augmente par le froid, et que le même homme, également à jeun et en repos, mais dans une température de 12 degrés seulement, consomme par heure 1344 pouces d’air vital.

Pendant la digestion, cette consommation s’élève à 1800 ou 1900 pouces.

Le mouvement et l’exercice augmentent considérablement toutes ces proportions. M. Seguin étant à jeun et ayant élevé pendant un quart d’heure un poids de 15 livres à une hauteur de 613 pieds, sa consommation d’air pendant ce temps a été de 800 pouces, c’est-à-dire de 3200 pouces par heure.

Enfin, le même exercice fait pendant la digestion a porté à 4600 pouces par heure la quantité d’air vital consommé. Les efforts que M. Seguin avait faits dans cet intervalle

équivalaient à l'élévation d'un poids de 15 livres à une hauteur de 650 pieds, pendant un quart d'heure" (p.696).

Estes resultados encaminham para uma relação entre a quantidade de ar consumido e o trabalho realizado (elevação de um peso a uma altura determinada), grandezas comparadas no mesmo intervalo de tempo. Para poder chegar a esta relação há que considerar que a temperatura do sangue permanece constante e há que verificar quais são os parâmetros que variam. Neste caso:

“le nombre de pulsations des artères et celui des inspirations varient d'une manière très remarquable” (p.696).

Com as experiências realizadas puderam estabelecer as duas seguintes leis:

“La première, c'est que l'augmentation du nombre des pulsations est assez exactement en raison directe de la somme des poids élevés à une hauteur déterminée (...). La seconde, c'est que la quantité d'air vital consommé est, toutes choses égales d'ailleurs, lorsque la personne ne respire qu'aussi souvent que le besoin l'exige, en raison composée des inspirations et des pulsations, c'est-à-dire en raison directe du produit des inspirations par les pulsations” (p.696).

Tendo a consciência de que o que lhes interessa são relações e não valores absolutos que variam de pessoa para pessoa, com a idade e com o estado físico em que se encontra, concluem:

“Ces lois sont même assez constantes, pour qu'en appliquant un homme à un exercice pénible, et en observant l'accélération qui résulte dans le cours de la circulation, on puisse en conclure à quel poids, élevé à une hauteur déterminée, répond la somme des efforts qu'il a faits pendant le temps de l'expérience” (p.697).

Estamos, de uma forma muito evidente, perante um processo de fabricação de uma “entremida”, fisicamente significativa, que nos permite comparar ações de natureza tão diferente:

“Ce genre d'observation conduit à comparer des emplois de forces entre lesquelles il semblerait n'exister aucun rapport. On peut connaître, par exemple, à combien de livres en

poids répondent les efforts d'un homme qui récite un discours, d'un musicien qui joue d'un instrument. On pourrait même évaluer ce qu'il y a de mécanique dans le travail du philosophe qui réfléchit, de l'homme de lettres qui écrit, du musicien qui compose. Ces effets, considérés comme purement moraux, ont quelque chose de physique et de matériel qui permet, sous ce rapport, de les comparer avec ceux que fait l'homme de peine. Ce n'est donc pas sans quelque justesse que la langue française a confondu, sous la dénomination commune de *travail*, les efforts de l'esprit comme ceux du corps, le travail du cabinet et le travail du mercenaire" (p.697).

Esta passagem é muito interessante: ela remete para o "romance"² e introduz-nos, com "precisão", na problemática sobre a natureza das medições físicas. Com efeito, a medida física é "cega" relativamente à natureza das actividades em questão. Aquilo que ela permite medir é um lado da "realidade" que poderá até ser contraditório com outros valores, nomeadamente, de ordem social. No caso presente, o esforço intelectual poderá corresponder a um menor consumo de ar do que o esforço físico de um trabalhador que utiliza o corpo, no entanto, socialmente o esforço intelectual é sobrevalorizado, económica e socialmente, relativamente à actividade meramente física. Ou seja, a medida física não é tudo e estes autores dão-nos a percepção dos limites mas também do valor deste tipo de conhecimento.

Sobre os limites destaque-se a incapacidade de resolução, com este conhecimento, das injustiças sociais:

"Tant que nous n'avons considéré dans la respiration que la seule consommation de l'air, le sort du riche et celui du pauvre était le même; car l'air appartient également à tous et ne coûte rien à personne; l'homme de peine qui travaille davantage jouit même plus complètement de ce bienfait de la nature. Mais maintenant que l'expérience nous apprend que la respiration est une véritable combustion, qui consume à chaque instant une portion de la substance de l'individu; que cette consommation est d'autant plus grande que la circulation et la respiration sont plus accélérées, qu'elle augmente à proportion que l'individu mène une vie plus laborieuse et plus active, une foule de considérations morales naissent comme d'elles-mêmes de ces résultats de la physique.

Par quelle fatalité arrive-t-il que l'homme pauvre, qui vit du travail de ses bras, qui est obligé de déployer pour sa subsistance tout ce que la nature lui a donné de forces, consomme plus que l'homme oisif, tandis que ce dernier a moins besoin de réparer?

² Este texto contrasta com o discurso sobre a noção de "trabalho" nos manuais escolares que começa por evitar este tipo de relação, desperdiçando, assim, um momento que permite colocar em evidência o valor e o limite das grandezas físicas.

Pourquoi, par un contraste choquant, l'homme riche jouit-il d'une abondance qui ne lui est pas physiquement nécessaire et qui semblait destinée pour l'homme laborieux? Gardons-nous cependant de calomnier la nature, et de l'accuser des fautes qui tiennent sans doute à nos institutions sociales et qui peut-être en sont inséparables. Contentons-nous de bénir la philosophie et l'humanité, qui se réunissent pour nous promettre des institutions sages, qui tendront à rapprocher les fortunes de l'égalité, à augmenter le prix du travail, à lui assurer sa juste récompense, à présenter à toutes les classes de la société, et surtout aux classes indigentes, plus de jouissances et plus de bonheur" (p.698-699).

Sobre o valor deste conhecimento destaca-se o contraste que emerge entre as “leis da natureza” (centradas em torno do equilíbrio) e as “leis humanas” (fomentadoras de desequilíbrios), um contraste gerador de ideias activas:

“L'ordre physique, assujetti à des lois immuables, arrivé dès longtemps à un état d'équilibre que rien ne peut déranger, n'est point sujet à ces mouvements tumultueux que présente quelquefois l'ordre moral. C'est une chose vraiment admirable que ce résultat de forces continuellement variables et continuellement en équilibre qui s'observent à chaque pas dans l'économie animale, et qui permettent à l'individu de se prêter à toutes les circonstances où le hasard le place” (p.699).

É a procura deste equilíbrio, que se mantém através das compensações de consumo de ar (com os correspondentes consumos de alimentos), que sustenta o entusiasmo destes investigadores para quem a ordem na natureza é a crença essencial.

Estamos, portanto, perante uma ideia de balanço, tão ao jeito de Lavoisier, no exercício das diferentes “forças”, para o qual foi essencial o estabelecimento de uma medida comum – neste caso: elevação de um determinado peso a uma dada altura.

Estamos perante um comportamento harmonioso da natureza:

“Dans la course, dans la danse, dans tous les exercices violents, quelque accélération qu'éprouvent la respiration et la circulation, quelque accroissement que prenne la consommation d'air, de carbone et d'hydrogène, l'équilibre de l'économie animale n'est pas troublé, tant que les aliments plus ou moins digérés qui sont presque toujours en réserve dans le canal intestinal fournissent aux pertes; mais, si la dépense qui se fait par le poumon est supérieure à la recette qui se fait par la nutrition, le sang se dépouille de plus

en plus d'hydrogène et de carbone; et telle est la cause sans doute des maladies inflammatoires proprement dites" (p.701).

Por este desequilíbrio já não é responsável a natureza mas sim as exigências dos humanos.

Este texto dá-nos uma percepção muito viva do que está em jogo na conservação da energia, ainda que se desenvolva num contexto de existência do calórico. Tal facto não é perturbador uma vez que não é inibidor da exibição de "forças" de natureza tão diferentes.

O artifício necessário ao estabelecimento da medida comum está bem evidenciado no dispositivo fabricado.

Já no texto de Feynman sobre a conservação da energia, o que é manifestamente exibido é o cálculo, ou seja, a natureza matemática deste conceito, como veremos seguidamente.

7.3 O conceito de energia em Feynman

Os cerca de duzentos anos que separam os textos de Lavoisier e de Feynman prometem-nos uma lonjura tanto no conteúdo dos conceitos como na sua natureza. Com efeito, o físico teórico que foi Richard Feynman (1918-1988) colocará em cena um conceito de energia radicalmente diferente do exposto anteriormente. Feynman escreve numa época em que o princípio de conservação da energia já tem mais de cem anos e em que o físico teórico ganhou um estatuto tal que lhe confere uma certa autoridade. A forma de produção de conhecimento científico dos físicos teóricos é substancialmente diferente dos experimentalistas e dos chamados cientistas de terreno. Se, como vimos com Isabelle Stengers, não é legítimo universalizar o conhecimento construído em laboratório não será também de nos interrogarmos sobre a legitimidade da tendência universalizante das noções produzidas pelos físicos teóricos? Concretamente, no que nos diz respeito, quando Feynman estabelece que o conceito de energia tem uma natureza meramente matemática deveremos aceitar essa proposição como a verdade? Será essa a verdade com mais valor pedagógico? Porque é que os investigadores na área do ensino da Física vão beber apenas a esta fonte?

Os textos de Feynman são muito interessantes, nomeadamente o texto sobre “Os grandes princípios de conservação” (em “La nature de la physique”), e reconhecemos neles uma genialidade pedagógica, como tentaremos colocar em evidência. Mas, curiosamente, não é essa genialidade que é relevada, na maioria dos casos, pelos investigadores no âmbito da didáctica.

Do outro lado do tempo (considerando o marco da emergência do princípio de conservação da energia) temos o texto de Seguin e Lavoisier que dão visibilidade a mais uma harmonia da natureza.

Haverá alguma ponte entre estes dois textos que tão longe estão no tempo e nas ideias?

Para podermos responder a esta questão debruçemo-nos sobre o pensamento de Feynman, no que diz respeito ao conceito de energia e ao seu ensino.

O carácter matemático do princípio de conservação da energia

No texto sobre “Os grandes princípios de conservação” Feynman começa por colocar em evidência o poder intelectual destes grandes princípios:

“Prenons, par exemple, la conservation de l’énergie; c’est une quantité qu’on peut calculer suivant une certaine règle, et on obtient toujours le même nombre quoi qu’il arrive.

Vous réalisez maintenant que cela peut être bien utile. Imaginons que la physique, ou plutôt la nature, est un vaste jeu d’échecs avec des millions de pièces, et que nous nous efforçons de découvrir la règle du jeu. Les grandes divinités qui jouent le font très rapidement, on a de la peine à suivre et à comprendre. Pourtant nous arrivons à saisir certaines règles, et parmi celles que nous découvrons il y en a qui ne nécessitent pas d’observer tous les mouvements” (p.68-69).

Feynman está-se a referir aos princípios de conservação. A este respeito acrescenta:

“Supposons qu’il y ait un seul fou, le fou blanc, sur l’échiquier; puisque le fou avance en diagonale et donc reste toujours sur des cases de la même couleur, si on détourne un instant le regard pendant que les dieux jouent et qu’on le reporte à nouveau sur le jeu, on peut s’attendre à trouver encore un fou blanc sur l’échiquier, sa position aura peut-être changé mais la couleur de sa case sera la même. Telle est l’essence même d’une loi de conservation. Nous n’avons pas besoin d’entrer dans le jeu pour en connaître au moins les rudiments” (p.69).

Com esta imagem Feynman dá-nos já alguns elementos fundamentais sobre o valor deste tipo de princípios: eles são essenciais mas não determinam o jogo em questão.

Para compreendermos a natureza específica da conservação da energia há que contrastar com outros princípios de conservação menos complexos. É o caso da conservação da carga. A este respeito escreve:

“...[la théorie de la conservation de la charge] n’a toujours rien de mathématique. Il suffit d’additionner le nombre de positrons que l’on a et le nombre de protons, de retirer le nombre d’électrons” (p.73).

Ou seja, a conservação da carga consiste numa contagem de “objectos”, o que não acontece com a conservação da energia. Embora estes “objectos” sejam muito especiais (serão reais?) a operação de contagem é uma operação relativamente simples.

A respeito da conservação da energia escreve:

“De toutes les lois de conservation, celle qui traite de l’énergie est la plus difficile, la plus abstraite, et cependant la plus utile, elle est plus difficile à comprendre que celles que je viens de décrire; en effet, pour la charge et ces autres lois de conservation, le mécanisme est clair, c’est plus ou moins la conservation de certains objects” (p.80).

A dificuldade com a conservação da energia reside não no facto de se referir a uma entidade mais abstracta do que os outros casos (será a energia mais abstracta do que o positrão?) mas por implicar um procedimento de cálculo bastante mais complicado e engenhoso (para Feynman não é bem assim, pois os objectos de que ele fala parecem existir enquanto que a energia não existe).

Dada a dificuldade referida por este cientista, ele constrói uma analogia que lhe permite introduzir este conceito.

Neste sentido escreve:

“La conservation de l’énergie est un petit peu plus difficile, car cette fois, nous avons un nombre qui ne varie pas avec le temps, mais ce nombre ne représente aucun objet particulier. Je voudrais utiliser une analogie un peu bête pour vous donner quelques explications.

Imaginez une mère qui laisse son enfant seul dans une pièce avec vingt-huit cubes absolument indestructibles. L’enfant joue avec les cubes toute la journée, et lorsque la mère revient elle constate qu’il y a bien vingt-huit cubes; à chaque fois elle vérifie la conservation des cubes! Cela continue pendant quelques jours, puis, un jour, à son retour, elle ne trouve plus que vingt-sept cubes. Cependant, elle trouve un cube dehors, au pied de la fenêtre, où l’enfant l’a jeté. La première chose à réaliser dans une loi de conservation, c’est que vous devez veiller à ce que le truc à contrôler ne passe pas de l’autre côté du mur. L’inverse pourrait se produire, si un petit garçon venait jouer avec l’enfant et apportait des cubes avec lui. Ce sont évidemment là des questions qu’il faut envisager quand on discute des lois de conservation.

Imaginez maintenant que la mère venant compter les cubes n’en trouve un jour que vingt-cinq, mais soupçonne l’enfant d’en avoir caché trois dans une petite boîte. Elle dit alors: «Je vais ouvrir cette boîte. – Non, répond l’enfant, tu ne dois pas l’ouvrir». En mère intelligente, elle répond. «Je sais que la boîte vide pèse 600g et que chaque cube pèse 100g, je vais donc peser la boîte». Ainsi en faisant le total du nombre de cubes, elle obtient:

Nombre de cubes visibles + (Poids de la boîte – 600 g) / 100 g

Et le total fait 28. Ce système marche très bien pendant un certain temps, puis un jour le total ne tombe pas juste. Cependant, elle remarque que l'eau sale dans l'évier a changé de niveau. Elle sait que la profondeur de l'eau est de 6 cm quand il n'y a pas de cubes au fond et que le niveau monterait d'un demi-centimètre s'il y avait un cube dedans; elle ajoute donc un autre terme et obtient alors:

$$\text{Nombre de cubes visibles} + (\text{Poids de la boîte} - 600 \text{ g}) / 100 \text{ g} + \\ + (\text{hauteur de l'eau} - 6 \text{ cm}) / (\text{un demi-centimètre})$$

et de nouveau le total fait 28.

A mesure que l'ingéniosité de l'enfant se développe, celle de la mère en fait autant, et on ajoute de plus en plus de termes, qui tous représentent des cubes, mais qui, du point de vue mathématique, ne sont que des calculs abstraits, puisque les cubes restent invisibles. Je voudrais maintenant établir mon analogie, et vous expliquer les ressemblances et les différences entre cet exemple et la conservation de l'énergie. Supposons d'abord que dans aucun des cas, la mère n'ait vu de cubes. Le terme «nombre de cubes visibles» n'apparaît jamais. La mère, alors, serait toujours en train de calculer un tas de termes tels que «cubes dans la boîte», «cubes dans l'eau», etc. Pour l'énergie, cette différence existe, il n'y a pas de cubes, pour autant qu'on puisse dire" (p.80-82).

Toda esta narrativa é muito viva - ela implica a existência de gestos, a variação no tom de voz, os olhos que brilham. Ela alimenta o estado de "romance" numa tentativa de precisar o valor e o significado da conservação da energia. Aliás, todo este texto está povoado de ingredientes que remetem para o "romance". Por exemplo, o título – Os grandes princípios de conservação:

"Je vous ai dit que nous utilisons les mots courants avec un sens technique; un autre mot figure dans le titre de ce cours, c'est le mot «grand», «les grands principes de conservation». Ce n'est pas un terme technique: il a simplement été ajouté pour donner au titre une résonance plus dramatique, et j'aurais pu tout aussi bien dire «des lois de conservation»" (p.69).

Quando esta pequena história é utilizada pelos professores será que o carácter matemático da noção de energia é perfeitamente apreendido pelos alunos? E pelos professores? Será evidente que a energia é colocada em paralelo com a história levada aos seus limites e não com a história contada? Pensamos que não mas não será por isso que a história perde o seu interesse. Com efeito, ela coloca em cena a imaginação – neste caso uma imaginação que se exerce na

invenção de formas de cálculo – e o valor de uma equação de balanço. Relativamente a este último aspecto Feynman refere alguns exemplos, nomeadamente:

“Citons un autre exemple intéressant de l'utilisation de la loi de conservation de l'énergie. C'est la réaction dans laquelle un neutron se désintègre en un proton, un électron et un antineutrino. On crut d'abord qu'un neutron se transformait en un proton plus un électron. Mais l'énergie de toutes les particules pouvait être mesurée, et celle d'un proton et d'un électron réunis n'égalait pas celle du neutron. Il y avait deux possibilités. La loi de conservation de l'énergie pouvait ne plus être valable; en fait Bohr émit l'hypothèse, pendant quelque temps, que peut-être la loi de conservation ne s'appliquait que statistiquement, en moyenne.

Mais on sait maintenant que l'autre possibilité est la bonne: le fait que l'énergie ne semblait pas se conserver provient de l'apparition d'un autre élément, que nous appelons aujourd'hui antineutrino. L'antineutrino qui apparaît absorbe l'énergie. On pourrait dire que sa seule raison d'être est de valider la loi de conservation de l'énergie” (p.88-89).

Feynman coloca a tónica na proficuidade deste princípio omitindo as problemáticas que lhe deram origem. Ou seja, através deste texto não percebemos as questões às quais a conservação da energia vem dar resposta.

Contrariamente, com o texto de Lavoisier e Seguin a questão principal que está na origem deste princípio é de grande visibilidade: procura de uma medida comum. Este texto também coloca em evidência o valor de uma equação de balanço, mas enquanto que em Feynman este valor é intelectual, em Seguin e Lavoisier é estético – ela traduz uma harmonia da natureza. A imaginação também ocupa um lugar de relevo neste texto, aqui ela joga-se na procura da “entre-medida” e na concretização de todo o dispositivo de medida. Enquanto que Feynman acentua a engenhosidade do cálculo, Seguin e Lavoisier acentuam a engenhosidade da medida.

7.4 Algumas Considerações Finais

“L’activité musculaire d’un bourgeois qui va tranquillement son chemin tout un jour est considérablement supérieure à celle d’un athlète soulevant, une fois par jour, un énorme poids; ce fait a été confirmé par la physiologie; ainsi donc, même ses petites activités quotidiennes, dans leur somme sociale et par la faculté qu’elles ont d’être sommées, produisent infiniment plus d’énergie que les actes héroïques; l’activité héroïque finit même par sembler absolument dérisoire, grain de sable posé sur une montagne avec l’illusion de l’extraordinaire. L’Homme sans qualités fut enchanté par cette idée”.

Robert Musil³ em “L’Homme Sans Qualités”, p.15-16.

A reflexão, transcrita em epígrafe, do *Homem sem qualidades* tem origem na medida física de energia. Esta, tal como no texto de Lavoisier e Seguin, é “cega” relativamente à dimensão moral das situações. Tanto para estes autores como para o Homem sem qualidades ela é, por contraste, fonte de reflexões sobre os valores sociais.

Esta consciência sobre o valor e os limites da medida física é uma das dimensões fortes do texto de Seguin e Lavoisier, tornando-o um texto com grande valor formativo.

Com o texto de Feynman não temos incursões aos valores sociais mas temos, em contrapartida, acesso a uma outra fonte de questões:

“La loi de conservation de l’énergie se vérifie pour la vie comme pour les autres phénomènes” (p.86).

Ou seja, mesmo dentro dos fenómenos de natureza física a conservação da energia não faz a diferença, ela não é explicativa.

Os dois textos trabalhados neste capítulo dão relevância à medida integrada numa equação de balanço, mas enquanto que o balanço no texto de Seguin e Lavoisier traduz uma harmonia da

³ Refira-se que Musil trabalhou com E. Mach em Viena.

natureza, o balanço em Feynman é uma mera regra, que não testemunha nada no que diz respeito à natureza. Ou melhor:

“We do not understand the conservation of energy. We do not understand energy as a certain number of little blobs. You may have heard that photons come out in blobs and that the energy of a photon is Planck’s constant times the frequency. That is true, but since the frequency of light can be anything, there is no law that says that energy has to be a certain definite amount. Unlike Dennis’ blocks, there can be any amount of energy, at least as presently understood. So we do not understand this energy as counting something at the moment, but just as a mathematical quantity, which is an abstract and rather peculiar circumstance. In quantum mechanics it turns out that the conservation of energy is very closely related to another important property of the world, *things do not depend on the absolute time*. We can set up an experiment at a given moment and try it out, and then do the same experiment at a later moment, and it will behave in exactly the same way. Whether this is strictly true or not, we do not know. If we assume that it *is* true, and add the principles of quantum mechanics, then we can deduce the principle of the conservation of energy” (p.4-7, 1963).

Já foi anteriormente referido que, muitos investigadores, no âmbito do ensino da energia fazem da frase de Feynman – energia como conceito abstracto matemático – um dogma, ponto de partida para muitas das investigações. Do nosso ponto de vista, o texto de Seguin e Lavoisier poderá ser, didacticamente, mais interessante. Complementado com alguns dos aspectos, já evidenciados, do texto de Feynman torna-se num instrumento formativo importante.

A Pedagogia não se submete à História. Estes autores pelo poder da reflexão didáctica tornam-se igualmente actuais, ou seja, de tão longe chegam tão perto.

Considerações Finais

Nesta parte do nosso trabalho de investigação demos espaço a uma certa euforia da conservação da energia. Com efeito, dá-se uma alteração profunda na forma de “ver” o mundo físico, o que tem um efeito de envolvimento afectivo, pelas ligações que permite estabelecer. Como afirmava Tyndall, Mayer passa da união dos átomos para a união dos mundos. Pretendemos, assim, encenar toda esta emoção – alimento para o estado de romance, alimento para a “flying classroom”. Vimos como antes da emergência do conceito científico, a ideia de energia habita a cultura, e particularmente o mundo das artes. O seu poder expressivo atinge um primeiro pico com os românticos. Ostwald irá, mais tarde, valorizar este poder expressivo que atingirá novo pico com o expressionismo.

Com a emergência da conservação da energia há um poder – o poder unificador – que lhe fica colado e que vai reforçar a contaminação de todos os domínios da cultura.

Com Mayer, Joule e Helmholtz colocámos em evidência diferentes contextos, interesses, estilos pessoais e científicos. A riqueza de pensamento destes cientistas ajuda-nos a equacionar algumas questões sobre a natureza da ciência sem cairmos em reducionismos perigosos.

Com estes autores fomos vivendo alguns dos valores subjacentes ao desenvolvimento do conhecimento científico. Construámos algumas narrativas e sobretudo colocámos em evidência a diversidade de fenómenos. Como afirma Kuhn:

“a conservação da energia não é nada menos do que a contrapartida teórica dos processos de conversão laboratoriais, descobertos durante as primeiras quatro décadas do século XIX” (1989, p.112).

Ao escolhermos estes cientistas deixámos de fora A. Colding, cientista dinamarquês a quem Kuhn atribui o mesmo estatuto que Mayer, Joule e Helmholtz, no desenvolvimento da conservação da energia. Referimos a influência da visão do mundo de Ørsted – patente no conto de Andersen, *O sino* – sobre Colding, do que ele próprio dá testemunho:

“the conclusions regarding the human mind’s accord with natural reason, which the immortal H. C. Ørsted first taught me to recognize and treasure” (Colding citado por F. Dahl no artigo “Ludvig A. Colding and the Conservation of Energy”, 1963, p.176).

A espiritualidade de Colding está explicitamente inscrita no seu artigo “On the History of the Principle of the Conservation of Energy”, *Phil. Mag.*, 1864, onde ele conta como se viu envolvido nesta questão:

“The first idea I conceived on the relationship between the forces of nature was the following.

As the forces of nature are something spiritual and immaterial, entities whereof we are cognizant only by their mastery over nature, these entities must of course be very superior to everything material in the world; and as it is obvious that it is through them only that the wisdom we perceive and admire in nature expresses itself, these powers must evidently be in relationship to the spiritual, immaterial, and intellectual power itself that guides nature in its progress; but if such is the case, it is consequently quite impossible to conceive of these forces as anything naturally mortal or perishable. Surely, therefore, the forces ought to be regarded as absolutely imperishable” (pp.57-58).

Colding, por aconselhamento de Ørsted, só publicará as suas ideias, em 1843, após evidência experimental. Para isso desenvolve um conjunto de experiências que pretendem provar “that the heat disengaged was always in proportion to the mechanical energy lost” (id., p.59).

Quem parte do texto de Feynman sobre a conservação da energia não vive a dimensão fenomenológica que esteve na sua origem, o que, no contexto didáctico é grave, não por ter ignorado a História mas por fazer a economia de questões didacticamente essenciais.

Com a noção de energia há toda uma cultura que vibra e nós somos os herdeiros dessa cultura.

Se, por um lado, a energia nos permite ligar os vários mundos e, por isso, nos empolgar, por outro lado, ao abordar o mundo sob o signo da equivalência ignora a “evolução” visível nos acontecimentos do mundo físico. O seu poder explicativo é muito limitado.

Na parte seguinte do nosso trabalho de investigação abordaremos a pós-euforia da conservação da energia e a subsequente necessidade de introdução de uma outra forma de olhar para os fenómenos, de que Planck é representativo.

Parte Terceira

**De uma noção de energia à “natureza”
em existência**

“Ave, salve, viva a grande máquina do universo!
Ave, que sois o mesmo, árvores, máquinas, leis!
Ave, que sois o mesmo, vermes, êmbolos, ideias abstractas”

Álvaro de Campos em “A passagem das horas”

Introdução

Nesta terceira parte abordaremos o desenvolvimento das ideias no pós conservação da energia. Escolhemos os princípios do século XX para os debates que traduziram evoluções diferentes sobre a natureza do conhecimento científica.

Veremos como Ostwald se entusiasma com o que ele designa por energética e como esta lhe permite desenvolver uma visão do mundo onde, por exemplo, os problemas psicológicos poderão ser encarados numa perspectiva semelhante aos fenómenos físicos, fazendo apelo aos fluxos de energia. Debatendo-se contra o reducionismo mecanicista, Ostwald fará uma unificação matemática de todos os fenómenos.

Planck volta a interessar-se pelo mundo físico mas munido do poder dos conceitos abstractos, completamente afastados de interpretações antropomórficas. Poderemos, dessa forma, atingir a “realidade” invisível.

Com Mach poderemos apreciar a sua sensibilidade didáctica, que o leva a uma valorização da história dos conceitos, e o carácter construtivo do conhecimento científico.

Na parte final discutiremos os limites da ideia de degradação da energia, tentando dar visibilidade a fenómenos que os novos desenvolvimentos da termodinâmica têm evidenciado.

Capítulo 8

Os Limites da Conservação da Energia

8.1 De Mayer a Ostwald e a Planck

Mayer e Joule estão na origem de duas linhas diferentes de pensamento. Com efeito, Mayer não precisou da teoria mecânica do “calor” para anunciar e desenvolver a ideia de indestrutibilidade da “força”. Pelo contrário, Joule introduz logo uma interpretação sobre a natureza mecânica do “calor”, como vimos, ingrediente fundamental para a interpretação mecanicista da grande variedade de fenómenos que emerge nos princípios do século XIX.

Mayer não precisava nem lhe convinha uma tal interpretação, se aceitarmos que o que o preocupa são as relações entre o espírito, o corpo e a natureza. Tudo reduzir à matéria em movimento tem um poder unificador forte para os fenómenos físicos mas deixa de fora fenómenos de outra natureza. A energia como realidade fundamental permitiu a Ostwald (1853-1932) passar dos fenómenos físicos aos fenómenos da civilização (ver *Les fondements énergétiques de la civilization*), aos fenómenos psicológicos (ver *L'énergie*), à vida dos grandes homens (ver *Les grands hommes*).

Quanto aos fenómenos físicos, Ostwald (1937 – edição em língua alemã 1902) escreve:

“Si rapide qu’ait dû être cette esquisse de l’énergétique du monde matériel, il me semble qu’elle a suffi à montrer que l’on peut résoudre de la façon la plus complète le problème de la représentation en termes d’énergie de tous les phénomènes physiques. Partout il nous a suffi de laisser parler les faits, tels qu’on les connaît, pour trouver leur expression énergétique; nous n’avons jamais eu besoin de recourir à des représentations hypothétiques, c’est-à-dire à des représentations dont l’exactitude est impossible à démontrer” (*L’énergie*, p.174, o sublinhado é nosso).

Passaram 60 anos depois do primeiro texto de Mayer. Há um termo novo – a energética – que designa a área de conhecimento a que está associado o grupo de cientistas que dá um lugar primordial ao conceito de energia. Um ilustre representante desse grupo é Ostwald. Veremos melhor o que isto quer dizer. Voltemos, por agora, ao que há de novo quando Ostwald escreve este texto. Há todos os desenvolvimentos que a noção de entropia foi sofrendo, desde Clausius (1822-1888) a Boltzmann (1844-1906) e a Planck (1858-1947), e as subsequentes interpretações do valor (valor superior – valor equivalente) e da natureza da energia relativamente ao valor e à natureza da entropia. Ostwald e Mach (1838-1916) vão resistir à hipótese atômica, recusando, consequentemente, os rumos que a entropia tomará nas mãos de Boltzmann. Esta resistência deriva da visão que estes cientistas têm sobre a natureza do

conhecimento científico. Embora, entre os dois haja grandes diferenças eles estão juntos no combate às interpretações mecanicistas.

Ostwald enfatiza a harmonia que a energética permite cultivar:

“En proclamant que toutes les espèces d’énergie peuvent se transformer les unes en les autres, elle permet de voir le lien commun qui unit la matière pondérable avec les «forces» impondérables, l’une et les autres ressortissant à la notion d’énergie. Et, en même temps, en mettant en lumière la nature particulière de chaque forme d’énergie, elle détermine des conceptions et des représentations diverses et assez souples pour s’appliquer aux phénomènes réels les plus divers” (id., p.175).

Mais uma vez o fundamento estético está activo neste equilíbrio entre o geral e a especificidade. A energia para Ostwald é a base de todos os acontecimentos, “on ne peut imaginer aucun événement auquel l’énergie n’ait sa part” (p.v). E vai mais longe dizendo que “*c’est dans l’énergie que s’incarne le réel*” (p.v). A energia tem, portanto, dois “valores” em Ostwald: ela é o próprio real, e ela é conceito – o mais grandioso de todos os conceitos – que permite unir mundos tão diferentes:

“Si un poète, après avoir cherché quelles sont les plus grandes idées sur lesquelles méditent aujourd’hui les hommes, se plaignait qu’il n’y en eût plus pour les conduire à embrasser de vastes ensembles, je lui signalerais le concept d’énergie, le plus grandiose de ceux qui se sont fait jour au siècle dernier; s’il savait chanter l’énergie en accents dignes du sujet, il ferait une épopée que l’on pourrait regarder à bon droit comme celle de l’humanité” (p.vi).

Esta ideia de energia, que encarna o real, atinge uma expressão forte no que Langevin conta a propósito do que dizia Curie: «je vois l’énergie» (história referida por B. Brunhes em *La dégradation de l’énergie*, 1991, 1ª edição 1909, p.307).

Voltemos, então, ao sublinhado da primeira citação de Ostwald – o que significa deixar falar os factos? Esta questão vai ter desenvolvimentos diferentes em Ostwald, em Planck e em Mach, como teremos oportunidade de apreciar ao longo desta parte do trabalho. Estes autores encontram-se nas suas posições mais radicais, nos princípios do século XX, pois como teremos oportunidade de constatar Planck, no seu percurso intelectual, começa por resistir ao valor da hipótese atómica.

Ostwald partilha com Mach o lugar primordial que dá às sensações, ao mundo fenomenológico, mas afasta-se deste no que diz respeito ao carácter provisório do conhecimento:

“Tout ce qui pourra arriver aux lois énergétiques, c’est d’être élargies ou précisées; l’édifice qu’elles forment sera peut-être embelli; jamais il ne sera démoli et reconstruit”
(p.176).

O deixar falar os factos não incluirá, portanto, a possibilidade de ruptura na forma de olhar para esses factos, o que acontecerá com Planck. É, precisamente, porque Planck também não pode deixar de reconhecer o poder dos factos, “il n’est point de théorie capable d’annihiler les faits”, que o desenvolvimento do seu pensamento passa por uma conversão que chega a ser dolorosa. Este autor, no seu primeiro trabalho sobre a conservação da energia (ver 8.2.2) dá um relevo interessante ao pensamento de Mayer, chegando a defender que é a boa estratégia de pensamento para iniciar alguém nestas questões.

Ostwald no seu texto sobre *A Energia* dá, igualmente, um espaço grande a Mayer, procedendo a longas transcrições dos seus artigos. Mayer constitui-se como referência fundamental tanto para Planck, como para Ostwald e Mach. Neste item, pretendemos, essencialmente, confrontar as ideias de Ostwald e de Planck. Embora haja aspectos comuns a estes dois homens (a necessidade de produzirem e de promoverem uma visão do mundo, a estratégia de fazerem falar os factos, a defesa do carácter real da energia) eles materializam-se de forma irreconciliável. As divergências constitutivas de duas formas de pensar divergentes têm origem na aceitação e na recusa da hipótese atómica. Esta recusa é encarada por Planck como a manifestação de uma vontade disposta a aniquilar os factos, já que a evidência do movimento browniano e as novas interpretações emergentes vêm produzir factos cuja inteligibilidade passará pela aceitação da hipótese molecular.

O confronto que aqui produzimos é conseguido utilizando alguns aspectos do texto *L’Énergie*, de Ostwald, e do texto *Lois statistiques et lois dynamiques* de Planck, integrado na colectânea de textos *Initiations à la Physique*.

Ostwald - um energetista convicto

“On voit donc que l'énergétique permet d'explorer avec succès tous les domaines de la civilisation”

Ostwald em *L'énergie*, p.234

No texto acima referido, Ostwald constrói uma história dos conceitos mais importantes para o desenvolvimento da energética. Um dos conceitos que Ostwald privilegia é o conceito de trabalho. Mesmo quando introduz a questão do movimento perpétuo evita pronunciar-se quanto à impossibilidade de um movimento permanente, dizendo que disso ainda não há provas, e retira aquilo que o interessa verdadeiramente que é a impossibilidade de obter trabalho a partir de nada. Ostwald faz deste conceito, o conceito charneira entre a estática e a dinâmica. Ao passar à dinâmica a noção em destaque será a *energia do movimento*. Este autor faz um pouco de história para responder às suas questões sobre a natureza e o valor de um tal conceito. Remete, então, para Galileu para ver qual a possível relação entre o trabalho e a *força viva*:

“Rappelons-nous d'un côté le fait que le travail, c'est à dire le produit de la force par le chemin parcouru, est soumis à une loi de conservation en ce sens que, s'il peut être transformé par les machines de telle façon que la force et le chemin parcouru acquièrent d'autres valeurs, sa quantité reste constante dans toutes les circonstances. D'un autre côté, rappelons-nous qu'il résulte de l'analyse faite par Galilée de la chute libre que, si les vitesses acquises sont proportionnelles aux temps, les *carrés des temps*, et par conséquent aussi les *carrés des vitesses acquises* sont proportionnels aux espaces parcourus. Galilée établit en outre que, quand la chute n'est pas libre, mais s'effectue sur un plan incliné d'une inclinaison quelconque, la vitesse acquise ne dépend pas de la longueur du plan incliné mais seulement de sa hauteur. Le corps acquiert exactement la même vitesse, soit que sa chute soit libre, soit qu'elle s'effectue le long d'un plan incliné d'une inclinaison quelconque, pourvu que la hauteur de la chute libre soit égale à la différence de hauteur qu'il y a entre le haut et le bas du plan incliné” (Ostwald, 1937, p.42).

O raciocínio desenvolvido por Ostwald corresponde, nitidamente, à estratégia de pensamento de Mayer quando este promove o “aprender a conhecer os fenómenos”. Na verdade, Ostwald começa com o trabalho das máquinas e a ideia de conservação do trabalho, passando, depois para outro tipo de fenómeno com a finalidade de ver aí que novos parâmetros estão em jogo que poderão alimentar a “imaginação” científica na compreensão da conservação do trabalho. Nesse sentido afirma:

“Maintenant, pendant que le corps a parcouru son chemin, il y a eu consommation du travail qu’il pourrait fournir suivant ce chemin s’il faisait partie d’une machine quelconque, sans cependant que se soit manifesté, comme dans les machines, un autre travail de quantité égale. Sommes-nous donc en présence d’un cas auquel la loi de la conservation du travail ne s’appliquerait pas? Certainement, si on prend cette loi dans le sens qu’on lui donnait autrefois, car il y a eu disparition de travail sans qu’il se soit produit d’autre travail. Mais est-ce que tout est demeuré dans l’état primitif? La seule différence que nous puissions trouver entre l’état initial et l’état final, c’est que la masse qui est tombée a acquis une certaine vitesse, dont le carré, comme nous venons de le voir, est proportionnel à la hauteur de la chute” (id., pp.42-43).

Para dar grande visibilidade à equivalência entre trabalho e energia cinética, Ostwald recorre ao estudo do caso do pêndulo. Aí ele é genial, pois transforma uma situação “banal” num elemento de produção de um olhar novo, característica importante do pensamento científico. Importa aqui seguir, de novo, o texto de Ostwald que tão bem evidencia estes aspectos:

“C’est quand on la réalise sur le pendule que cette expérience prend la forme la plus simple. Dans ce cas, bien entendu, le corps ne se meut pas suivant un plan incliné; il se meut suivant un chemin circulaire, qu’au point de vue géométrique on peut considérer comme composé d’innombrables plans inclinés dont l’inclinaison change constamment. Mais, comme Galilée a établi que la valeur de la vitesse acquise par un corps tombant le long d’un plan incliné ne dépend que de la différence de hauteur entre le haut et le bas de ce plan et non de son inclinaison, le changement continuel d’inclinaison des plans suivant lesquels le corps se meut dans le cas du pendule ne vicie en rien notre argumentation, où nous visons précisément la vitesse acquise. Eh bien, pendant que le corps du pendule tombe d’une hauteur déterminée, sa hauteur au-dessus du sol diminue constamment; en même temps, sa vitesse augmente, et, quand il est arrivé au point le plus bas de sa course, sa vitesse a sa plus grande valeur. A partir de ce point, le corps s’élève de nouveau; donc il reçoit du travail, de même que, précédemment, pendant sa chute, il en avait perdu, et, en même temps, sa vitesse décroît, jusqu’à ce qu’elle soit devenue nulle. Alors il se retrouve à la hauteur où il était au commencement de son mouvement, et toute la série de ces processus recommence en sens inverse. Nous avons donc le droit d’interpréter ces processus en disant que le travail qui se trouve à l’origine dans le pendule au haut de sa course se transforme en quelque autre chose, qui n’est pas du travail, mais qui peut, par une transformation inverse, redevenir du travail. Et, au cours de cette seconde transformation, le corps récupère exactement la quantité de travail qu’il avait dépensée pour produire cette nouvelle chose. Cette chose est à coup sûr en rapport étroit avec la

vitesse acquise; toutefois elle n'est pas proportionnelle à cette vitesse elle-même, mais au carré de cette vitesse. Puisque sa production est liée à la disparition d'une quantité correspondante de travail, elle est de même nature que le travail. Nous avons donc le droit d'appliquer à cette nouvelle chose le nom d'énergie, et comme, elle dépend du mouvement de la masse, nous l'appellerons énergie de mouvement" (id., pp.43-45, o sublinhado é nosso).

O pintor Paul Klee parece ter sido inspirado por este texto quando cria uma forma que ele associa à energia do movimento do pêndulo (ver pp.124-125 da obra *Théorie de l'Art Moderne*).

A clareza que Ostwald consegue nas suas exposições deriva também de uma certa compreensão histórica do desenvolvimento dos conceitos – influência de Mach.

O que é a energética para Ostwald?

“On entend par énergétique le développement de cette idée que tous les phénomènes de la nature doivent être conçus et représentés comme des opérations effectuées sur les diverses énergies. La possibilité d'une pareille «description» de la nature ne put être imaginée que lorsqu'eut été découverte la propriété générale que possèdent les différentes formes d'énergie de pouvoir se transformer les unes en les autres. Robert Mayer fut donc le premier qui put envisager cette possibilité” (id., p.119).

Ostwald pretende demarcar-se dos mecanicistas, que tudo reduzem à energia mecânica, pois desse modo poderá unificar diferentes tipos de fenómenos:

“L'hypothèse mécaniste a deux inconvénients très considérables; d'abord elle force d'adopter un grand nombre d'autres hypothèses indémontrables, et ensuite elle est impuissante à faire comprendre la liaison qui existe incontestablement, car nous la constatons journellement, entre les phénomènes physiques dans le sens étroit du mot et les phénomènes psychologiques” (p.120).

Mas mais do que demarcar-se dos mecanicistas, Ostwald pretende mostrar como essa linha de pensamento é mais estéril do que o que é possível esperar da herança de Mayer. Embora a energética deva o seu nome a um artigo publicado por Rankine (1855), este não poderá, na perspectiva de Ostwald, ser encarado como energetista:

“[Rankine] publia l'ébauche d'une science qu'il nommait énergétique. Dans ce travail, il prétendait embrasser, au moyen de quelques principes généraux, tout l'ensemble de la physique et de la chimie. A cet égard, il est tout à fait comparable à Mayer, qui, dans son tableau synoptique des «forces», n'avait pas oublié les phénomènes chimiques. Mais ce qui distingue nettement et tout à son désavantage de Mayer, c'est qu'il s'en tient absolument à l'hypothèse mécaniste de Joule et de Helmholtz, méconnaissant ainsi ce qu'il y a d'essentiel dans la véritable énergétique, à savoir qu'elle n'a besoin de recourir à aucune hypothèse” (p.133).

Se Ostwald se debate contra o reduzir tudo ao mesmo - mecanicismo, ele vai no entanto propor um tipo único de expressão matemática para tratar toda a variedade de fenômenos: o produto de dois factores, um intensivo e outro extensivo, como passaremos a explicar.

Para estabelecer esta unificação matemática, Ostwald faz apelo à conservação da energia e ao pensamento de Carnot. Com efeito, as ideias pilares para o desenvolvimento do formalismo da energética são: a ideia de que o calor é similar a outras formas de energia (o valor da equivalência) e por outro lado a ideia de que para que haja acontecimentos é preciso que haja diferenças. Relativamente a este último aspecto escreve:

“En désignant la température, la pression, la tension électrique, le potentiel chimique et d'autres valeurs encore sous le nom général d'«intensités» des diverses espèces d'énergie, ces différents auteurs laissent déjà entrevoir que des propriétés semblables à celles que Carnot a découvertes à la température se retrouveront chez les autres intensités, et, en particulier, que des transformations d'énergie (des transports d'énergie, suivant la conception de Carnot), ne pourront avoir lieu que lorsqu'il existera des différences de pression, de tension électrique, etc., absolument comme la chaleur ne peut produire de travail que lorsqu'il existe des différences de température” (id., p.140).

A existência de uma diferença de intensidade é uma condição necessária para que se passe qualquer coisa, mas não é uma condição suficiente. Ocorre, então, perguntar, quando é que se passa qualquer coisa? Ao que Ostwald responde:

“Nous avons reconnu que la condition nécessaire pour qu'il y ait transport d'énergie, et, par suite, pour qu'il se passe quelque chose, est qu'il y ait une différence d'intensité; pour trouver maintenant la condition suffisante, nous devons commencer par apprendre à connaître de plus près les autres facteurs de l'énergie” (id., p.151).

Aqui, este cientista está a referir-se aos factores extensivos (como a massa, o volume, etc.). Para caracterizar estes factores “il nous a suffi de laisser parler les faits” (p.174).

A base operacional da energética é muito poderosa, sendo ainda utilizada em muitos textos nossos contemporâneos¹, e Planck terá algumas dificuldades na sua argumentação contra este poder, como veremos.

Com tudo isto Ostwald pretende, recorrendo ao factor de intensidade, contribuir para a simplificação do segundo princípio. Na verdade, “l'intensité d'une énergie indique si cette énergie est en repos ou non” (p.93), o que permite a este autor afirmar:

“Par suite de la forme mathématique quelque peu inusitée sous laquelle il a été présenté par Clausius, et des calculs compliqués au moyen desquels ont été obtenus les résultats importants qu'il est susceptible de donner, le second principe a acquis la réputation d'être particulièrement difficile à comprendre, tandis qu'on trouvait le premier principe d'une parfaite clarté. Mais si l'on résume le second principe dans cette formule: *l'énergie en repos ne se met pas d'elle-même en mouvement*, il prend presque la forme d'un truisme. (...) En d'autres termes, *une fois que les changements temporaires ont cessé dans un système quelconque, ils ont cessé pour toujours*, à moins que de l'énergie ne soit apportée de l'extérieur à ce système” (id., p.151).

Ou seja, Ostwald segue Clausius enquanto este funciona no quadro iniciado por Carnot, mas distancia-se dele quando o seu pensamento evolui, no que diz respeito à compreensão dos fenómenos irreversíveis, fazendo apelo à hipótese atómica.

Como já referimos, o formalismo da energética permite a Ostwald uma extensão aos fenómenos psicológicos e sociais. O seu livro termina com a afirmação:

“L'énergétique, en effet, si puissamment qu'elle ait contribué à façonner le savoir humain, n'est encore guère qu'une science de l'avenir. Mais tout fait prévoir que son heure va sonner” (p.235).

¹ Ver a este respeito Hiebert (1962) em *Historical Roots of the principle of Conservation of Energy*. Aí, Hiebert nomeia como uma das características fundamentais dos fenómenos designados por “energy changes” a possibilidade da sua representação matemática como o produto entre um factor de capacidade e um factor de intensidade (p.4). Deste modo, as transferências de energia “involves the recognition of a capacity factor and na intensity factor. - in the case of mechanical energy, force and distance. Other capacity factors, such as heat capacity and electrical current, and their respective intensity factors, temperature and electrical potential, are more advanced notions and were understood relatively late in the development of physics” (p.5).

Veremos, seguidamente, com Planck a fragilidade maior deste tipo de pensamento. Ele é, no entanto, interessante e poderá ser utilizado na explicação de muitas situações fenomenológicas.

Ostwald termina o seu livro *Les fondements énergétiques de la science et de la civilisation* fazendo apelo a uma educação que reconheça o valor de aprender a *conhecer a natureza* e o valor de alguns conceitos (como é o caso com a energia) no desenvolvimento de *espíritos livres* (p.147).

Planck – um anti-energetista convicto

“C’est l’abstraction seule qui libère les lois physiques de toute attache anthropomorphique et leur permet de se manifester sous une forme simple et générale”

Planck em *Initiations à la Physique*, p.154.

A frase em epígrafe ajuda a ver a diferença entre dois pensamentos que defendem que é preciso deixar falar a natureza. Já vimos o que isso significava para Ostwald. Planck insistirá, também, nesse aspecto:

“Plus en penseur est riche en idées, plus son imagination est féconde, plus il lui est indispensable de se pénétrer d’une chose: c’est que les faits, considérés dans le détail de leur individualité, restent toujours l’élément fondamental sans lequel il n’y aurait pas de science. C’est pourquoi il devra s’examiner lui-même avec un soin des plus scrupuleux pour se rendre compte s’il accorde bien à ces mêmes faits tout le respect qui leur est dû” (*Initiations à la Physique*, p.285).

O texto de Planck que utilizaremos para fazer contraste com Ostwald – *Lois statistiques et lois dynamiques* - põe em cena a diferença entre o primeiro e o segundo princípios da Termodinâmica. Este aspecto será, também, focado noutros artigos utilizando, embora, estratégias diferentes. Na verdade, Planck estabelece aqui como finalidade "montrer le contraste existant entre les lois statistiques et les lois dynamiques" (p.57).

A aceitação deste contraste não foi pacífico para Planck mas chegou aí deparou-se com a oposição de uma corrente, forte na altura, a energética. Veremos, mais tarde, que as polémicas mais agressivas aconteceram contra o que ele designou de positivismo. Como Planck conta na sua "Autobiographie Scientifique", e como nós já referimos, ele viveu muito mal estas oposições. O movimento browniano, com as suas novas interpretações, terá o poder que é reconhecido aos factos, embora se trate de um facto de natureza diferente dos factos do mundo fenomenológico. Daí as dificuldades de Ostwald e Mach com o estatuto desta entidade.

Um dos valores deste artigo está relacionado com outro contraste que poderemos evidenciar: o contraste entre uma abordagem centrada numa argumentação conceptual – o caso agora tratado – e uma abordagem centrada na história dos conceitos – caso que será abordado posteriormente.

A crítica aos energetistas

Planck começa por introduzir a crítica ao energetismo fazendo apelo a dois fenómenos:

"Commençons par un exemple banal, prenons deux tubes de verre reliés entre eux par un tuyau de caoutchouc et versons un liquide pesant, du mercure par exemple, par l'extrémité supérieure d'un des deux tubes; nous verrons alors le liquide remonter par l'autre tube en passant par le tuyau de caoutchouc et l'ascension se poursuivra jusqu'à ce que les niveaux soient les mêmes dans les deux tubes. En outre l'état d'équilibre se rétablira de lui-même s'il vient à être dérangé d'une façon quelconque. Si nous élevons brusquement l'un des tubes de telle sorte que le mercure soit soulevé un instant et que par suite son niveau devienne supérieur à ce qu'il est dans l'autre, le mercure redescendra aussitôt jusqu'à ce que l'égalité des niveaux soit rétablie, telle est la loi élémentaire bien connue des vases communicants dont le siphon n'est qu'une application.

Passons maintenant à un autre phénomène. Prenons un morceau de fer, portons-le à une température élevée en le mettant dans un four et jetons-le ensuite dans un récipient rempli d'eau froide, la chaleur du fer se répandra dans l'eau et l'échauffement de l'eau durera jusqu'à ce que l'égalité de température soit établie. On arrive alors à ce qu'on appelle l'équilibre thermique, cet équilibre se rétablit lorsqu'on le perturbe.

Il y a donc une analogie évidente entre les deux phénomènes que nous venons de décrire, pour tous les deux, la condition nécessaire de modification est l'existence d'une certaine différence. Cette différence sera, dans le premier cas, une différence de niveau, dans le

second une différence de température. L'équilibre a lieu quand la différence s'annule. C'est pourquoi on dit quelquefois que la température est le niveau thermique et que, dans le premier cas, l'énergie de gravitation, dans le second, l'énergie thermique tombe d'un niveau supérieur à un niveau inférieur, la chute se poursuivant dans les deux cas jusqu'à l'égalité des niveaux.

Aussi verrons-nous sans étonnement une énergétique portée aux généralisations trop hâtives s'emparer de cette analogie et voir dans les deux phénomènes l'application d'un même grand principe baptisé par elle «principe du devenir»" (p.57, o sublinhado é nosso).

Consideramos que este texto conjugado com o texto de Ostwald ajuda a melhor compreender o que está em jogo na perspectiva energética. Embora Planck tenha sofrido com esta polémica as suas referências a Ostwald não incluem a agressividade que encontramos nas suas referências a Mach, de quem Planck foi inicialmente adepto. Esta diferença poderá entender-se pelo facto de Ostwald, contrariamente a Mach, lutar por uma visão do mundo, que não coincide, é certo, com a de Planck mas que corresponde a uma grande unificação, aspecto tão valioso para Planck. Contrariamente Mach, construtivista, não defende uma visão do mundo. Esta unificação dos energetistas é centrada no já referido "principe du devenir". Vejamos o que Planck diz sobre este princípio: "D'après ce principe tout changement ayant lieu dans la nature pourrait se ramener à un échange d'énergie et, à ce point de vue, toutes les formes d'énergie seraient considérées comme autonomes et comme pleinement équivalentes" (p.57).

Como concretizar tecnicamente esta abordagem?

Utilizemos mais uma vez, a este respeito, as palavras de Planck:

"A toute forme d'énergie correspondrait un facteur d'intensité qui lui est propre: pour la gravitation, ce facteur serait la hauteur, pour la chaleur, la température. C'est la différence dans les facteurs d'intensité qui déterminerait la manière dont les phénomènes se déroulent dans le temps. Comme le principe semblait évident, personne ne songeait à mettre en doute qu'il ne fût valide dans tous les cas absolument; et comme il était inévitable, il devint objet de vulgarisation et passa même dans les livres d'enseignement élémentaire" (p.57, o sublinhado é nosso).

A evidência que Planck reconhece a este princípio, torna-o difícil de atacar. O próprio Planck reconhece que há acordo entre esta medida e o cálculo realizado pela física moderna. O que Planck não pode admitir é que se diga que os dois processos - queda de um corpo e transferência de calor - sejam encarados como similares. Outro aspecto que Planck não pode suportar na energética é a sua exclusiva preocupação com as trocas de energia. Para este autor, como veremos mais tarde, a energia é uma grandeza absoluta e é a física moderna,

relatividade e mecânica quântica, que lhe permitirá estabelecer uma medida absoluta para a energia.

Assim, para Planck, as transferências de energia não podem continuar a ser encaradas como se não existisse um segundo princípio, na sua forma contemporânea.

O movimento browniano

Como vimos, a conservação da energia aparece sob o signo da equivalência quantitativa. A possibilidade de considerar todas as formas de energia equivalentes alimentou a ambição dos mecanicistas de reduzir o mundo físico à energia mecânica. Ostwald viu na energia a possibilidade de alimentar uma visão do mundo em geral. Vimos como Mayer é uma referência importante para Ostwald na sua luta contra o reducionismo centrado na energia mecânica. Lembremo-nos de quando ele fala das florestas e das plantas e da sua incapacidade de utilização de outra forma de energia que não seja energia radiante. Há diferenças evidentes nos processos de transferência de energia que não são exibidas pela conservação da energia. Claro que para Mayer as impossibilidades de transformação de diferentes formas de energia correspondiam apenas a dificuldades técnicas.

Diferentemente de Mayer os energetistas são contemporâneos de formulações sofisticadas do segundo princípio mas não reconhecendo essas formas contemporâneas recusam a emergência de uma diferença na natureza dos processos de transferência de energia. É contra esta atitude que Planck se bate intensamente:

"L'analogie entre le cas de la gravitation et le cas de la chaleur est en réalité tout à fait superficielle. Un abîme profond sépare les lois auxquelles ces deux phénomènes sont soumis. De l'ensemble des faits expérimentaux accumulés à ce sujet, il résulte, en effet, avec certitude que le premier phénomène obéit à une loi dynamique et le second à une loi statistique. En d'autres termes, si le liquide coule d'un niveau supérieur vers un niveau inférieur, c'est là une nécessité, tandis que si la chaleur passe d'une température élevée à une autre plus basse, ce n'est qu'une probabilité" (p.57).

Ao fazer estas afirmações Planck está consciente da dificuldade de aceitação desta proposição. Com efeito ele acrescenta imediatamente:

"naturellement une affirmation aussi étrange, disons même aussi paradoxale, doit être appuyée par un faisceau de preuves absolument convaincant. Je m'efforcerai donc de produire la plus importante d'entre ces preuves" (p.57).

Vamos continuar a segui-lo na exibição da prova que ele considera ser a mais importante. Esta prova tão importante consiste em colocar em cena o movimento browniano.

Com efeito Planck afirma:

"D'après le principe énergétiste du devenir qualifié par nous d'erroné, l'état d'un liquide en repos et où régnerait une température uniforme, devrait être absolument incompatible avec un changement quelconque; car là où on ne saurait trouver de différences d'intensité, il ne peut y avoir non plus aucune cause de changement. Mais on peut rendre visible ce qui se passe à l'intérieur d'un liquide tel que de l'eau, par exemple, en y suspendant des particules très nombreuses et très petites ou des gouttelettes d'un autre liquide tel que du mastic ou de la gomme gutte. Or le spectacle qui attend celui qui regarde une préparation de ce genre sous le microscope est de ceux qui ne se peuvent oublier. Il semble que l'on pénètre dans un monde entièrement nouveau. Au lieu de l'immobilité sépulcrale qu'il était naturel d'imaginer, l'observateur assiste à la plus échevelée des sarabandes de la part des particules suspendues et, chose remarquable, les particules qui se démènent le plus follement sont justement les plus petites. Il est impossible de déceler de la part du liquide aucun frottement qui frenerait le mouvement. Si, par hasard une particule vient à s'arrêter, une autre entre aussitôt à sa place dans la danse. Devant un tel spectacle, il est impossible de ne pas songer à l'activité fiévreuse d'une fourmilière que l'on aurait bouleversée avec un bâton. Mais tandis que les insectes finissent par se remettre peu à peu de leur excitation et même par perdre toute activité quand la nuit tombe, les particules ne montrent pas la moindre trace de fatigue tant que la température du liquide reste constante. Nous sommes donc en présence d'un «perpetuum mobile» au sens le plus strict du mot et non pas dans une des nombreuses acceptions figurées qui ont été données à ce terme" (p.61, o sublinhado é nosso).

Este texto traduz bem o efeito que teve este fenómeno sobre Planck. A percepção deste movimento é, como diz Perrin no seu livro "Les Atomes", a mediação possível entre o mundo à nossa escala e o micromundo. Vale a pena transcrever aqui as palavras de Perrin que são de uma grande clareza e que desvendam um mundo de grande beleza. Começa assim:

"L'agitation moléculaire échappe à notre perception directe comme le mouvement des vagues de la mer à un observateur trop éloigné. Cependant, si quelque bateau se trouve alors en vue, le même observateur pourra voir un balancement qui lui révélera l'agitation qu'il ne soupçonnait pas. Ne peut-on de même espérer, si des particules microscopiques se trouvent dans un fluide, que ces particules, encore assez grosses pour être suivies sous

le microscope, soient déjà assez petites pour être notablement agitées par les chocs moléculaires?

Cette question aurait pu conduire à la découverte d'un phénomène merveilleux, que nous a révélé l'observation microscopique, et qui nous donne une vue profonde sur les propriétés de l'état fluide.

A l'échelle ordinaire de nos observations, toutes les parties d'un liquide en équilibre nous semblent immobiles. Si l'on place dans ce liquide un objet quelconque plus dense, cet objet tombe, verticalement s'il est sphérique, et nous savons bien qu'une fois arrivé au fond du vase, il y reste, et ne s'avise pas de remonter tout seul.

Ce sont là des notions bien familières, et pourtant elles ne sont bonnes que pour des dimensions auxquelles nos organes sont accoutumés. Il suffit en effet d'examiner au microscope de petites particules placées dans de l'eau pour voir que chacune d'elles, au lieu de tomber régulièrement, est animée d'un mouvement très vif et parfaitement désordonné. Elle va et vient en tournoyant, monte, descend, remonte encore, sans tendre aucunement vers le repos. C'est le *mouvement brownien*, ainsi nommé en souvenir du botaniste anglais *Brown*, qui le découvrit en 1827, aussitôt après la mise en usage des premiers objectifs achromatiques" (p.134).

Aqui, Perrin acrescenta uma nota dizendo:

"Buffon et Spallanzani ont eu connaissance du phénomène, mais, faute peut-être de bons microscopes, n'ont pas compris sa nature, et ont vu dans les «particules dansantes» des animalcules rudimentaires (*Ramsay*, Société des naturalistes de Bristol, 1881)" (p.134).

Este fenómeno não capta a atenção dos físicos senão mais próximo do fim do século. Como continua o texto de Perrin:

"Cette découverte si remarquable attira peu l'attention. Les physiciens qui entendaient parler de cette agitation la comparaient, je pense, au mouvement des poussières qu'on voit à l'œil nu se déplacer dans un rayon de soleil, sous l'action des courants d'air qui résultent de petites inégalités dans la pression ou la température. Mais en ce cas, des particules voisines se meuvent à peu près dans le même sens et dessinent grossièrement la forme des courants d'air. Or il est impossible d'observer quelque temps le mouvement brownien sans s'apercevoir qu'au contraire il y a indépendance complète des mouvements de deux particules, même quand elles s'approchent à une distance inférieure à leur diamètre (*Brown*, *Wiener*, *Gouy*).

L'agitation ne peut donc être due à des trépidations de la plaque qui porte la gouttelette observée, car des trépidations, quand on produit exprès, produisent précisément des

courants d'ensemble, que l'on reconnaît sans hésitation et que l'on voit simplement se superposer à l'agitation irrégulière des grains. D'ailleurs, le mouvement brownien se produit sur un bâti bien fixe, la nuit, à la campagne, aussi nettement que le jour, à la ville, sur une table sans cesse ébranlée par le passage de lourds véhicules" (p.135).

Perrin continua mostrando que este movimento se encontra em todo o tipo de fluidos e não depende da natureza dos grãos, apenas das suas dimensões "l'agitation est d'autant plus vive que les grains sont plus petits" (p.135). Mas a característica deste movimento que nos deixa perplexos é que

"le mouvement brownien ne s'arrête jamais. A l'intérieur d'une cellule close (de manière à éviter l'évaporation), on peut l'observer pendant des jours, des mois des années. Il se manifeste dans des inclusions liquides enfermées dans le quartz depuis des milliers d'années. *Il est éternel et spontané*" (p.136).

Qual a origem de um tal movimento que tem a capacidade de nos deslumbrar?

Continuemos com Perrin:

"Tous ces caractères forcent à conclure avec Wiener (1863) que «l'agitation n'a pas son origine dans les particules, ni dans une cause extérieure au liquide, mais doit être attribuée à des mouvements internes, caractéristiques de l'état fluide», mouvement que les grains suivent d'autant plus fidèlement qu'ils sont plus petits. Nous atteignons par là une propriété essentielle de ce qu'on appelle un fluide en équilibre: ce repos apparent n'est qu'une illusion due à l'imperfection de nos sens, et correspond, en réalité, à un certain régime permanent de violente agitation désordonnée.

C'est là précisément la conception que nous avaient suggérée les hypothèses moléculaires, et le mouvement brownien semble bien leur donner la confirmation" (p.136).

Assim,

"les recherches et les conclusions de Wiener auraient pu exercer une action considérable sur la théorie mécanique de la chaleur, alors en formation; mais, embarrassées de considérations confuses sur les actions mutuelles des atomes matériels et des «atomes d'éther», elles restèrent peu connues" (p.139).

Durante todo o século XIX esta hipótese da origem molecular do movimento browniano permaneceu como hipótese. Só no princípio do século XX apareceram trabalhos vocacionados para um controle experimental desta hipótese. É o que nos diz Perrin:

"Si séduisante que soit l'hypothèse qui place dans l'agitation moléculaire l'origine du mouvement brownien, c'est cependant encore une hypothèse. J'ai tenté (1908) de la soumettre à un contrôle expérimental précis, comme je vais l'expliquer, contrôle qui va nous donner un moyen de vérifier dans leur ensemble les hypothèses moléculaires.

Si, en effet, l'agitation moléculaire est bien la cause du mouvement brownien, si ce phénomène forme un intermédiaire accessible entre nos dimensions et celles des molécules, on sent qu'il doit y avoir là quelque moyen d'attendre ces dernières" (p.140).

A Emergência de um dualismo

A consideração do movimento browniano permite-nos, para além de "materializar" as hipóteses moleculares, o contacto com fenómenos que têm uma natureza diferente dos fenómenos mecânicos – os fenómenos estatísticos

Vejamos o que Perrin nos diz a este respeito:

"Voici donc une agitation qui se produit indéfiniment sans cause extérieur. Il est clair que cette agitation n'est pas en contradiction avec le principe de la conservation de l'énergie. Il suffit que tout accroissement de vitesse d'un grain s'accompagne d'un refroidissement du fluide en son voisinage immédiat, et de même que toute diminution de vitesse s'accompagne d'un échauffement local. Nous apercevons simplement que *l'équilibre thermique n'est, lui aussi, qu'un équilibre statistique.*

Mais on doit observer (Gouy, 1988), que le mouvement brownien, réalité indiscutable, donne la certitude expérimentale aux conclusions (tirées de l'hypothèse de l'agitation moléculaire) par lesquelles Maxwell, Gibbs, et Boltzmann, retirant au *principe de Carnot* le rang de vérité absolue, l'ont réduit à exprimer seulement une haute probabilité.

On sait que ce principe consiste à affirmer que, dans un milieu en équilibre thermique, il ne peut exister de dispositif permettant de transformer en travail l'énergie calorifique du milieu. Une telle machine permettrait, par exemple, de mouvoir un vaisseau en refroidissant l'eau de la mer, et, en raison de l'immensité des réserves, aurait pratiquement pour nous les mêmes avantages qu'une machine permettant «le mouvement perpétuel», c'est à dire nous livrant du travail sans rien prendre en échange, sans répercussion

extérieure. Mais c'est précisément ce *mouvement perpétuel de seconde espèce* qu'on déclare impossible.

Or il suffit de suivre des yeux, dans de l'eau en *équilibre thermique*, une particule plus dense que l'eau pour la voir à certains instants s'élever spontanément, transformant ainsi en travail une partie de la chaleur du milieu ambiant. Si nous étions de la taille des bactéries, nous pourrions à ce moment fixer au niveau ainsi atteint la poussière que nous n'aurions pas eu la peine d'élever et, par exemple nous bâtir une maison sans avoir à payer l'élévation des matériaux.

Mais, plus la particule à soulever est grosse, et plus il est rare que les hasards de l'agitation moléculaire la soulèvent d'une hauteur donnée" (p.138).

Este exemplo dado por Perrin é de uma grande clareza. E ele continua:

"Imaginons une brique de 1 kilogramme suspendue en l'air par une corde. Elle doit avoir un mouvement brownien, à la vérité extraordinairement faible. En fait nous serons bientôt en état de trouver le temps qu'il faut attendre pour que l'on ait pendant ce temps une chance sur deux de voir la brique se soulever par mouvement brownien à la hauteur d'un second étage. Nous trouverons un temps auprès duquel la durée des périodes géologiques et peut-être de notre univers stellaire est tout à fait négligeable. C'est assez dire, comme le bon sens l'indique, qu'il ne serait pas prudent de compter sur le mouvement brownien pour élever les briques qui doivent servir à construire une maison" (p.138).

Ao texto de Planck falta um bom exemplo na passagem do movimento browniano para a natureza diferente de fenómenos como a conductibilidade térmica. Com efeito, Planck começa por referir a introdução da estatística no estudo do movimento browniano:

"Smoluchowski est en effet parvenu à formuler une théorie statistique du mouvement brownien dont on peut déduire les lois régissant la densité de répartition des particules, leurs vitesses, la valeur de leurs parcours et même la valeur de leurs rotations. Ces lois ont été brillamment vérifiées par l'expérience, grâce surtout aux travaux de Jean Perrin.

Pour tout physicien qui croit à la valeur de la méthode inductive, il n'y a aucun doute: la matière possède une structure atomique. La chaleur est identique aux mouvements des molécules et la conductibilité thermique, comme tous les autres phénomènes irréversibles, obéit à des lois statistiques, c'est à dire à des lois de probabilité et non à des lois dynamiques. A vrai dire, il est extrêmement difficile de se faire une idée, même approximative, de l'incroyable petitesse de la probabilité qu'il y a à ce que, même pour un court instant, la chaleur suive la direction inverse de celle qui lui est habituelle, en passant, par exemple, de l'eau froide dans le fer chaud" (p.62).

Em seguida Planck vai com a ajuda de alguns exemplos tentar dar-nos uma ideia da "incroyable petitesse de la probabilité" do fenómeno em questão. Para depois acrescentar que "aux yeux de tout le monde il est en effet évident qu'une probabilité, fût-elle aussi petite qu'on le voudra, est séparée d'une impossibilité par un abîme infranchissable" (p.63).

A esse respeito escreve:

"il y a des cas où, même en physique, il convient de prendre en sérieuse considération des probabilités extrêmement minimes. Une poudrière peut exploser un beau jour sans qu'aucune cause externe puisse être attribuée à l'accident. A une inflammation de cette sorte, dite spontanée, comment pourrait on attribuer une autre cause que la suivante: une accumulation de chocs, de soi extrêmement improbables, entre des molécules susceptibles de réagir chimiquement les unes sur les autres dans le sens fatal. or cette accumulation est, on le voit aisément, régie par des lois purement statistiques. Par exemple, on saisit combien il faut être prudent dans l'emploi des mots tels que «sûr» ou «certain», même dans une science exacte. On peut aussi apprécier par là combien modeste est parfois la portée des lois expérimentales.

Ainsi donc, pour des raisons tirées, tant de la théorie que de la pratique, il est indispensable d'établir une distinction fondamentale entre les lois nécessaires et celles qui sont simplement probables [o sublinhado é da nossa responsabilidade]. Toutes les fois que l'on sera en présence d'une loi, la première chose à se demander sera donc: cette loi est-elle une loi statistique ou une loi dynamique?" (Planck, p.63).

Estamos, portanto, perante a emergência de um dualismo, se utilizarmos as palavras de Planck. Se, neste artigo, Planck pretende lutar contra a visão do mundo dos energetistas, que tratam igualmente fenómenos de natureza diferente, chegado a este ponto terá de lutar contra os radicais que vêm dizer que tudo releva da probabilidade. Isto será tão insuportável para ele quanto o seu diferendo com os energetistas.

Com efeito, afirma:

"Il y a là un dualisme, et même un dualisme inévitable, dès lors que les considérations statistiques ont droit de cité en physique, néanmoins bien des gens n'en ont pas été pleinement satisfaits et ont cherché à le faire disparaître. Dans ce but, ils se sont résignés à nier l'existence de toute certitude et de toute impossibilité absolue et à n'admettre que les probabilités plus ou moins grandes. Selon eux, il n'y aurait plus de lois dynamiques dans la nature, mais seulement des lois statistiques et le concept de nécessité absolue serait à exclure de la physique. Contre cette opinion, qui est une erreur grossière et pernicieuse, on peut objecter que tous les phénomènes réversibles, sans exception, sont régis par des

lois dynamiques, il n'y a donc aucune raison de supprimer cette dernière catégorie de lois². Mais il y a bien mieux encore: la physique, pas plus que n'importe quelle autre science, que cette science soit une science de la nature ou une science de l'esprit humain, ne peut se passer de la notion de loi absolue; sans cette notion, la statistique elle-même ne fournirait que des résultats dénués de leur fondement le plus essentiel" (p.64).

A testemunhar isto Planck refere que em física a determinação exacta das probabilidades “n'est possible que si les phénomènes élémentaires ultimes dits microscopiques obéissent uniquement à des lois dynamiques” (p.65). Aqui está expressa uma ideia muito cara a Planck – chegar à irreversibilidade através dos fenómenos reversíveis.

Retomemos o exemplo apresentado por Planck, comparação entre a queda de um corpo (neste caso um líquido) e a condução de calor. Inicialmente pôs em evidência a analogia entre estes dois fenómenos, como já vimos, para, em seguida, afirmar que esta analogia é de uma grande superficialidade. Assim, Planck vai tentar, por via da argumentação, colocar em evidência o contraste entre estes dois fenómenos:

"En ce qui concerne la nécessité de la chute du liquide pesant on peut montrer facilement qu'elle est une conséquence du principe de la conservation de l'énergie, car si la surface du liquide placée au niveau le plus élevé s'élevait encore davantage sans l'aide d'aucune impulsion extérieure entraînant un abaissement correspondant, il y aurait création d'énergie, ce qui est contraire au premier principe de la thermodynamique. Dans le cas de l'autre phénomène, il n'en est déjà ainsi, car le transport de chaleur pourrait aussi bien se faire de telle sorte que la chaleur passât de l'eau froide dans le fer chaud sans que le principe de la conservation de l'énergie fût violé. Tout ce que ce principe demande, c'est que la chaleur fournie par l'eau soit égale à la chaleur cédée au fer" (p.58).

Planck continua fazendo apelo a uma outra diferença:

"Mais il y a encore une autre différence entre les cours des deux phénomènes qui ne saurait échapper, même à l'observateur le moins averti. Le liquide qui tombe d'un niveau élevé vers un autre plus bas coulera d'autant plus vite qu'il s'abaissera davantage et quand l'égalité des niveaux dont nous avons parlé plus haut s'est établie, le liquide ne restera pas au repos dans la position d'équilibre, il la dépassera au contraire en vertu de son inertie,

² Lembremos que Bohr estava disposto a renunciar ao carácter “necessário” da conservação da energia e a atribuir-lhe um carácter estatístico durante a 2ª crise associada à validade da conservação da energia – fase prévia à descoberta do anti-neutrino.

de telle sorte que le liquide qui était tout à l'heure au niveau plus élevé sera maintenant au niveau le plus bas. Dans cette seconde phase du phénomène, la vitesse du liquide ira en diminuant jusqu'à devenir nulle, puis le phénomène se renouvellera dans l'ordre inverse. Si toute perte d'énergie provenant, soit de la résistance de l'air, soit du frottement du liquide contre les parois, pouvait être évitée, le liquide oscillerait indéfiniment autour de sa position d'équilibre. C'est pourquoi le phénomène peut être dit réversible.

Il en est tout autrement dans le cas de la chaleur, plus la différence de température entre le fer et l'eau sera petite et plus le transport de chaleur sera lent. Si l'on calculait au bout de combien de temps l'équilibre sera établi, on trouverait qu'il faut un temps infini pour y parvenir. En d'autres termes, entre le fer et l'eau on trouvera toujours une petite différence de température, aussi longtemps qu'on attende. Il n'y a donc pas trace d'un mouvement oscillatoire de la chaleur entre les deux corps, le transport a toujours lieu dans le même sens, et l'on doit dire que le phénomène est irréversible.

Parmi les contrastes que l'on peut observer entre les phénomènes physiques, il n'en est pas de plus grand que celui qui oppose les phénomènes irréversibles aux phénomènes réversibles" (p.59, o sublinhado é nosso).

Esta frase sublinhada representa o mote em torno do qual Planck desenvolve algumas das suas conferências:

"Les phénomènes de gravitation, les oscillations électriques et mécaniques appartiennent à la première catégorie, on peut facilement les faire rentrer dans le domaine d'application d'une seule et même loi dynamique: le principe de la moindre action qui contient lui-même implicitement le principe de la conservation de l'énergie. La conductibilité thermique, la conductibilité électrique, le frottement, la diffusion et toutes les réactions chimiques pour peu qu'elles aient lieu avec une vitesse notable font partie des phénomènes irréversibles. Tous ces phénomènes obéissent, ainsi que Clausius l'a montré, au second principe de la thermodynamique; postulat qui doit son importance et sa remarquable fécondité à ce qu'il permet de prévoir le sens dans lequel un phénomène irréversible aura lieu" (p.59).

A inteligibilidade dos fenómenos passa, portanto, pelo reconhecimento da sua natureza e consequente ênfase no primeiro ou no segundo princípio da termodinâmica. Ou seja, utilizando as palavras do próprio Planck:

"Comme le principe de la conservation de l'énergie occupe le premier rang parmi les lois dynamiques, de même le second principe est le plus important des lois statistiques" (p.66).

Planck termina este artigo exibindo a diferença entre a energia e o segundo princípio:

"Si nous passons maintenant à l'énergie nous voyons qu'elle n'a aucun rapport direct avec le second principe, la meilleure preuve en est qu'il existe un phénomène qui peut n'être accompagné d'aucune variation d'énergie: ce phénomène est la diffusion. Celle-ci a lieu tout simplement parce que le mélange intime de deux substances différentes est plus probable qu'un mélange où la répartition n'est pas uniforme. On peut, il est vrai, soumettre la diffusion aux lois de l'énergétique en introduisant la notion de l'énergie libre. Cette notion permet de formuler les faits d'une façon commode et assez intuitive; mais son emploi ne constitue jamais qu'un procédé indirect, car l'énergie libre ne peut être définie en faisant abstraction de ses rapports avec la probabilité" (p.67).

O próprio Planck reconhece que os seus argumentos decisivos têm alguma dificuldade em destronar o edifício da energética.

Algumas considerações finais

A importância deste artigo joga-se na tensão criada entre as diferentes abordagens aos fenómenos físicos. Planck não pode admitir a formulação energética, embora reconheça o valor da sua simplicidade e, conseqüentemente, o perigo da sua rápida generalização. A natureza profundamente diferente da segunda lei, relativamente à primeira, não poderá deixar de ter conseqüências na abordagem dos fenómenos. Assim, o primeiro passo a dar no estudo dos fenómenos físicos será a determinação do grupo a que pertence, a saber: fenómeno reversível ou fenómeno irreversível. Consoante o grupo a que pertença assim será feito apelo ao primeiro ou ao segundo princípio da termodinâmica. No caso dos fenómenos irreversíveis o que interessa é a utilização do segundo princípio, uma vez que a aplicação do primeiro, sempre válida, não acrescenta nada em termos da inteligibilidade do fenómeno. Com o desenvolvimento do interesse pelos fenómenos irreversíveis o primeiro princípio perde protagonismo.

Uma nova tendência se começa a desenhar: o considerar todos os fenómenos como probabilísticos. Esta tendência é completamente rejeitada por Planck que, levado a aceitar, com um certo esforço, o carácter probabilístico do conceito de entropia, não pode deixar de louvar o carácter das leis dinâmicas. Se é verdade que Planck dá uma grande importância aos

dois princípios, autonomizando o segundo princípio do primeiro, ele não lhes pode ainda dar o mesmo estatuto. Com efeito, escreve:

"(...) La dynamique et la statistique ne devront pas être conçues comme se trouvant l'une vis-à-vis de l'autre dans un simple rapport de coordination et placées de ce fait sur un pied d'égalité. Les lois dynamiques satisfont en effet complètement à notre besoin de causalité et elles ont, à cause de cela, un certain caractère de simplicité. Les lois statistiques, par contre, forment toujours un ensemble complexe qui ne se présente jamais comme quelque chose de définitif, car elles comportent toujours, à l'état latent, le problème de leur réduction à des lois dynamiques élémentaires" (p.65).

Ou seja, Planck não pode deixar de referir uma certa insatisfação relativamente às leis estatísticas.

Um outro aspecto que ressalta da leitura deste artigo é a preocupação de Planck em mostrar como os desenvolvimentos teóricos não podem ignorar os factos. Assim ,escreve:

"il résulte que le dualisme qui oppose lois statistiques et lois dynamiques est étroitement lié à l'opposition du macroscome et du microscome, qui est elle-même un fait d'expérience. Il n'est point de théorie capable d'annihiler les faits" (p.65).

Se, por um lado, como referimos, é com algum custo inicial que Planck aceita as leis estatísticas, por outro lado é ele que vai defender a sua importância:

"Aussi qu'on le veuille ou non, il est impossible de ne pas attribuer, tant aux lois statistiques qu'aux lois dynamiques, la place qui leur revient légitimement dans l'ensemble des théories physiques" (p.65).

Esta tensão existente entre leis dinâmicas e leis estatísticas é resolvida por Planck autonomizando-as. Na verdade, como vimos anteriormente, as primeiras abordagens de Planck ao segundo princípio correspondem a um desenvolvimento necessário no estudo da energia.

Este artigo permite-nos perceber algumas das convicções de Planck e algumas das suas dificuldades no desenvolvimento das questões.

Seguidamente acompanharemos o pensamento de Planck com mais algum detalhe.

8.2 Atingir a realidade invisível deixando a natureza existir plenamente

8.2.1 Introdução ao pensamento de Planck

"I never painted these things romantically; but from the beginning, I was always a realist"

Mondrian, citado por Hans Jansen, 1997, p.25.

A evolução do trabalho do pintor holandês Piet Mondrian (1872-1944), das paisagens à abstracção, parece-nos poder constituir-se como um bom exemplo para a nossa aproximação à obra do cientista Max Planck (1858-1947). Há, como veremos, textos escritos por Mondrian que poderiam ter sido escritos por Planck. Com efeito, este pintor desenvolve a sua obra em torno da procura de uma essência da realidade, o que o afastará, portanto, de uma representação natural-sensorial da natureza. É o que se passa com Planck, como tentaremos mostrar.

Designado por "abstract realist painter", Mondrian afirma: "the mutability of things creates in us a desire for the absolute, the immutable" (Mondrian, citado por Bridget Riley, 1997, p.16). Esta frase poderia ter sido escrita por Planck.

Nessa busca do absoluto Mondrian passa por diferentes períodos, relativamente a um dos quais ele afirma:

"The first thing to change in my painting was the colour. I forsook natural colour for pure colour: I had come to feel that the colours of nature cannot be reproduced on canvas. Instinctively, I felt that painting had to find a new way to express the beauty of nature" (Mondrian citado por Hans Jansen, 1997, p.22).

É à medida que ele se afasta da representação natural que se sente aproximar do real. Parece-nos que este paralelo terá o mérito de dar uma visibilidade diferente a uma certa evolução epistemológica, correspondente ao caso do pensamento de Planck.

Vamos tentar evidenciar alguns aspectos da evolução do pensamento de Planck, recorrendo a um dos seus primeiros escritos sobre a conservação da energia e aos textos reunidos no livro *Initiations à la Physique*. As biografias sobre Planck e a sua *Autobiografia Científica* foram

também elementos importantes na compreensão da natureza deste pensamento em transformação.

8.2.2 Sobre o texto de Planck de 1887, numa edição de 1921, com uma nota de Planck de revisão do texto de 1908

***Das Prinzip Der Erhaltung Der Energie*¹**

Este texto corresponde a uma dissertação submetida por Planck a um concurso premiado da Faculdade de Filosofia de Göttinger em 1887². O assunto proposto era "a natureza da energia". Com este trabalho Planck conseguiu o 2º prémio:

"outre mon envoi, deux autres mémoires avaient été soumis au Jury, mais ceux-là ne furent point couronnés du tout. Naturellement, je fus surpris de n'avoir pas emporté le premier prix, et je trouvai la réponse dans le détail de la décision formulée par la Faculté de Göttingue. Les juges signalaient quelques points d'importance mineure qu'ils critiquaient, puis ils déclaraient: «Finalement, la Faculté ne peut accorder son approbation aux remarques dans lesquelles l'auteur tente d'apprécier la loi de Weber». Voici quelle histoire il y avait derrière ces observations: W. Weber était le professeur de Physique de Göttingue qui menait à cette époque une vive controverse scientifique avec Helmholtz, controverse où j'avais ouvertement pris parti pour ce dernier. Je pense que je ne fais pas erreur en voyant dans cette circonstance la raison principale pour laquelle la Faculté de Göttingue décida de me retirer le premier prix: Mais, bien que mon attitude m'eût fait perdre l'approbation des universitaires de Göttingue, elle me valut d'autre part la bienveillante attention de ceux de Berlin, résultat dont je ne devais pas tarder à m'apercevoir" (Planck em *Autobiographie Scientifique*, p.74, 75).

Na sua nota introdutória de 1887, Planck refere que desde há muito tempo se interessa pela problemática do ensino da energia. Ele considera que durante os últimos 40 anos muito se tem escrito sobre o ensino da energia mas que as obras disponíveis, à excepção da Conservação da Força, de Helmholtz, visam círculos de leitores mais alargados- é o que se passa, por exemplo, desde os anos 40 com Mayer até aos anos 70 com Balfour.

¹ Trabalhámos este texto em alemão com a ajuda de uma pessoa de língua alemã.

² Planck terminou este texto na Primavera de 1885. Antes de o enviar para o concurso ainda lhe deu mais alguns retoques.

Planck pretende, portanto, um texto mais académico. Evidentemente ele está a pensar no ensino universitário da energia.

Ele justifica a pertinência actual deste seu trabalho pela necessidade sentida de: uma história exacta do desenvolvimento da significação e da utilização da palavra energia em Física; uma pesquisa aprofundada sobre as formas de energia e suas definições; valorizar o carácter universal do Princípio de Conservação da Energia (p.III).

Portanto, serão estas, as três direcções que ele vai privilegiar no desenvolvimento do seu trabalho: o desenvolvimento histórico, as diferentes espécies de energia, a formulação e prova do princípio de conservação da energia. Esta era a ordem lógica para o desenvolvimento do texto. Mas, ao longo do trabalho ele alterou a ordem prevista inicialmente para os 2º e 3º pontos. A justificação para esta alteração é dada pela introdução de um outro valor, não apenas o lógico: a vivacidade. Ele considera que o texto será muito mais vivo se ele começar pela conservação da energia, em vez de começar com as diferentes formas de energia. Refira-se que o estudo das formas de energia é muito minucioso e aprofundado o que poderá tornar o texto mais fastidioso.

Dos três pontos, declara ele, o ponto do desenvolvimento histórico é o menos importante embora o tenha trabalhado muito cuidadosamente. A necessidade que ele sentiu para dedicar algum tempo ao desenvolvimento histórico reside no facto de só aí ele encontrar justificação para defender a ideia, aparentemente ilógica, de que o termo em Física apenas tem valor pelo princípio que contém (ou seja, pelo princípio de conservação da energia). Há, portanto, um lado da compreensão do conceito de energia só acessível através de uma incursão histórica. É esta primeira parte do trabalho que mais nos interessa.

No desenvolvimento histórico desenvolvido por Planck há a intenção, explicitada pelo autor, de deixar de lado todas as especulações filosóficas. Declara, também, evitar toda a formulação de hipóteses, nomeadamente as hipóteses moleculares, mesmo tendo estas ocupado, durante os últimos anos, um lugar importante na ciência (como Planck está próximo de Mach, nesta época!).

Aqui temos um Planck quase anti-atomista, no que diz respeito à sua concepção da matéria, que mais tarde irá "atomisar" a energia.

Neste trabalho, Planck não incluirá o princípio de Carnot-Clausius (p.VIII). Considera ele, nesta altura que este princípio deriva ele próprio do princípio de conservação da energia. A sua intenção é a de dedicar uma atenção especial a este princípio num outro trabalho (p.VIII).

Na sua *Autobiographie Scientifique* conta-nos:

"Peu de temps après avoir fini mon mémoire pour Göttingue, je revenais à mon sujet favori et j'écrivis un certain nombre de contributions que je réunis sous le titre collectif, *Sur le principe de l'augmentation d'entropie*" (p.77).

Planck parece, portanto, nesta altura, dar um lugar primordial ao princípio da conservação da energia, diferentemente de Clausius que coloca os dois princípios ao mesmo nível.

Em 1908 Planck acrescenta uma nota à nova edição evidenciando o valor do princípio de conservação da energia resistente às grandes perturbações das novas descobertas científicas. Contra todas as dúvidas e discussões relativamente ao seu carácter universal, que ganharam algum terreno com a descoberta de substâncias radioactivas, o princípio sai vitorioso (p.XIX).

O princípio de conservação da energia - uma revolução?

Planck refere-se ao artigo de Helmholtz de 1847, *La Conservation de la Force*, como um monumento da história da ciência. A seu respeito refere-se a resistência que esse texto encontrou. Tal facto é atribuído, por Planck, à mudança radical de todas as concepções físicas que o texto de Helmholtz protagonizava (p.54). Foi necessário conjugar esta publicação com muitos outros contributos para "provocar a revolução na opinião geral" (p.54).

Com efeito, Planck considera que a aceitação deste princípio corresponde a uma mudança radical do pensamento em Física. Daí todas as resistências à aceitação deste novo princípio.

O valor deste princípio

O lugar primordial que Planck atribui ao princípio de conservação da energia está patente ao longo de toda a sua história pessoal. Desde o célebre momento em que, aluno do ensino secundário, vive uma espécie de revelação, quando o professor apresenta um caso para ilustrar a conservação de energia (ver p.57), até aos seus trabalhos conducentes à descoberta do *quantum*, este princípio terá um grande protagonismo, participando na revolução do conhecimento físico do início do século XX. Estamos, todavia, ainda longe desse momento.

O desenvolvimento histórico começa enunciando as "duas proposições que servem de base à construção vigente das ciências exactas: o Princípio de Conservação da Matéria e o Princípio de Conservação da Energia" (p.1). A respeito do valor dos princípios afirma: "o princípio é um guia extraordinário para explorar novos terrenos" (p.101). E esta foi, na verdade, a ideia

orientadora da sua actividade científica. O princípio é para Planck o único instrumento de extensão aos diferentes domínios.

Desde cedo encontramos em Planck uma adesão às noções unificadoras, fundamento estético do seu pensamento. Não será de admirar, portanto, que este cientista partilhe com Helmholtz um ponto de vista mecanicista. É a oportunidade para reduzir todas as diferentes manifestações fenomenológicas às duas formas mecânicas da energia, a potencial e a cinética. Esse será um passo importante na unificação dos processos naturais. Este desejo de unificação estará presente ao longo de todo o percurso intelectual de Planck.

Quando este artigo é escrito já há uma forte consciência dos limites do poder explicativo deste princípio. Nesse sentido, este autor escreve que o princípio não ensina mais do que as trocas das diferentes formas da "força", de acordo com proporções fixas, mas não dá nenhuma explicação sobre o como e o porquê das transformações (p.57).

A formulação do princípio

Planck começa por referir como raiz deste princípio, a impossibilidade do movimento perpétuo. Nos exemplos que vai trabalhar, nomeadamente a referência a Stevin, Planck segue e cita o trabalho de Mach. Mas entre o reconhecimento da impossibilidade do movimento perpétuo e a formulação da conservação da energia vai uma grande distância, aspecto que Planck explicita (nota-se aqui uma grande diferença relativamente a Helmholtz, derivada do contacto de Helmholtz com os fenómenos da vida). No entanto o seu papel foi determinante na extensão aos fenómenos do calor. Aí Planck remete para o pensamento inovador de Carnot. Com efeito, este deu um passo decisivo quando lhe ocorreu aplicar a ideia da impossibilidade do movimento perpétuo a fenómenos não mecânicos. Com base numa analogia hidráulica, Carnot procurou a compensação para a realização de trabalho (não se pode obter trabalho sem uma compensação) e encontrou-a na passagem do calor de uma temperatura mais elevada para uma temperatura mais baixa. A partir daqui procede à determinação de um equivalente mecânico do calor. Carnot exclui do seu "sistema" os fenómenos de condução. Neste caso seria de perguntar, o que fez Kelvin, há compensação e não há efeito, como é isso possível? É aqui que será posta em questão a ideia, presente em Carnot, de que o calor se conserva, ou seja, de que é preciso que aconteça mais qualquer coisa. Ou como diz Planck, o calor é necessário mas não suficiente para a produção de efeitos.

Veja-se o desenvolvimento de Ostwald em l'Énergie, ele faz da impossibilidade do movimento perpétuo a origem do desenvolvimento dos dois princípios.

Planck considera que o facto de Leibniz ter denominado duas grandezas de dimensões completamente diferentes pelo mesmo nome, a força viva e a força morta, gerou uma grande confusão de ideias. Planck reduz a controvérsia entre Leibniz e Descartes, via Papin, tendo em consideração o conhecimento actual, a uma simples discussão de palavras, na linha do que já tinha sido dito por D'Alembert. No entanto, reconhece nesta controvérsia o mérito de trazer para a ribalta a "força viva". Com efeito, a "força viva" terá um papel importante no desenvolvimento do conceito científico de energia. É a esta grandeza que Young, em 1807, dá o nome de energia. Por outro lado, a conservação da *vis viva* é um dos instrumentos conceptuais utilizado pelos protagonistas desta aventura intelectual de fabricação de uma noção científica de energia. Há, na época, um certo fascínio pela "força viva" das máquinas a vapor que tanto prometem (ver artigo de Greenberg, 1990). É o que transparece nalgumas telas de Turner, é o que transparece nalguns artigos dos protagonistas da invenção da energia, como é o caso de Mayer.

No que diz respeito à formulação inicial do princípio, Planck aborda as obras de Mayer, Joule, Helmholtz e Colding, embora as referências a este último sejam mais reduzidas. Este autor não se debruçará sobre o que é que levou cada um destes cientistas a entrar nesta problemática. Limita-se a caracterizar a actividade de cada um deles. Relativamente a Mayer, tão atacado por muitos, faz um rasgado elogio. No seu entender, o valor do pensamento de Mayer está na sua percepção do verdadeiro alcance das suas ideias. Contra a corrente que não quer reconhecer a importância das teses de Mayer, por considerar que as provas são fracas e que estão contaminadas por pensamento metafísico, Planck reconhece a importância do caminho heurístico de Mayer: aplicação numérica das suas ideias em todas as secções da natureza que podia abordar. E reforçando o seu apreço por Mayer, Planck mostra que a prova da ideia principal de Mayer não poderia ter sido dada por nenhum outro físico da época, dada a sua generalidade. O importante, diz Planck, é que ele foi ver as consequências do seu princípio em todos os domínios que lhe eram acessíveis na época. E acrescenta que se se procura colocar em evidência o princípio da conservação então a abordagem de Mayer, que se baseia na ideia de que nenhum efeito se perde na Natureza, pode ser bastante profícua (p.31).

Quanto a Joule, Planck afirma que a sua actividade se poderá caracterizar por duas fases distintas. A primeira corresponderá à necessidade de provar que existe um equivalente mecânico do calor. A segunda consistirá nas numerosas experiências para uma determinação

rigorosa do equivalente mecânico do calor, que se desenrolaram ao longo de vários anos (p.60)³.

Planck aponta a falta de sucesso dos primeiros trabalhos de Joule, derivado da desconfiança, existente nos meios científicos, relativamente a tudo que lhes parecia contaminado filosoficamente.

Ainda que Joule continue a utilizar uma noção de calor latente (esta noção só será finalmente esvaziada de sentido por Clausius) ele consegue com os seus trabalhos fundar uma teoria mecânica do calor. Antes dele, como diz Planck, a tónica era colocada apenas na permutação entre calor e trabalho (p.69).

Os trabalhos de Joule são extremamente importantes, pois só a partir do momento em que ele consegue medidas bastante rigorosas do equivalente mecânico do calor é que se começa a desenvolver uma base empírica importante para a sobrevivência científica da noção de conservação.

Colding é referido por Planck como um dedutivo cujas deduções tocavam, tal como em Mayer, a Metafísica. Ele considerava que as forças da natureza seriam entes espirituais, o que levava a uma oposição à consideração destes entes como efémeros. A força não pode ser senão eterna (p.35).

Helmholtz é apresentado como um mecanicista que encara o princípio de conservação da "força" como uma generalização da conservação da *vis viva* (p.40).

À sua visão mecanicista do "mundo" se deve um passo, enfatizado por Planck, na direcção da unificação dos processos da natureza. Recorrendo a Helmholtz, Planck apresenta a "força" sob duas formas principais: como força viva ou como força potencial. Qualquer uma delas poderá aparecer de diferentes maneiras: a força viva, como movimento visível, como luz, como calor; a "força" potencial como elevação de um peso, como "força" elástica, como "força" potencial eléctrica e como "força" potencial química, etc. (p.42).

A concepção de Helmholtz distingue-se da concepção de Mayer, diz Planck, porque este último considerava que havia várias formas da "força" qualitativamente diferentes, como o movimento, a força de queda, o calor, a electricidade, etc., enquanto que para Helmholtz todas as diferentes formas aparentes se reduzem às duas espécies: forças viva e potencial.

Portanto a equação da força corresponderá à soma de todas as forças potenciais e vivas. Mas para poder escrever esta equação é necessária uma medida comum para manifestações tão diferentes. Ora é aqui que surge uma certa fragilidade. É preciso definir o equivalente

³ Evidenciámos estes aspectos no capítulo 5.

mecânico do calor para se poder escrever esta equação mas o problema é que não existe uma regra geral independente do princípio de conservação para calcular este equivalente. A questão da determinação do equivalente mecânico do calor vai ocupar diferentes cientistas, durante vários anos.

Para além das incursões ao pensamento dos protagonistas da ideia de conservação da “força”, Planck visitará o pensamento de outros cientistas que foram ajudando a clarificar a noção de energia. Será o caso de Clausius, Rankine, Thomson.

No que diz respeito a Clausius, Planck refere a sua crítica a Helmholtz, quando este tenta reduzir tudo ao efeito das forças centrais, e refere o contraste do enunciado de Clausius com o enunciado de Carnot. No que diz respeito a esta última questão, Planck afirma que até 1849, Clausius utilizava uma noção de calor como “substância” indestrutível, tal como Carnot. Contudo, em 1850 Clausius publica um artigo onde consagra o “calor” como movimento:

"Em todos os casos em que se produz trabalho por meio do calor utiliza-se uma quantidade de calor proporcional ao trabalho produzido e vice-versa, pelo consumo de uma quantidade determinada de trabalho produz-se a mesma quantidade de calor" (Planck, p.61).

Vê-se bem como este enunciado está construído para subverter algumas das proposições de Carnot, pois o estilo do enunciado contrasta bem com o que foi dito por Carnot.

Planck refere ainda que Clausius, tal como Helmholtz, tomou como base duas noções fundamentais: o calor livre e o trabalho interno (Helmholtz tinha tomado a força viva e a força potencial). A velha noção de calor é, então, rejeitada: se o calor não produz elevação de temperatura então ele desaparece e é transformado em trabalho (p.62). Desaparece, deste modo, a muito utilizada noção de “calor latente”. A energia de um sistema químico estará, então, contida na energia térmica e no trabalho intermolecular.

Seguidamente Planck nomeia Rankine, que contrariamente a Clausius, não se contentará apenas com a informação de que o “calor” é movimento. Ele sente a necessidade de precisar algumas ideias especiais sobre a natureza do movimento a que se chama “calor”. Planck não desenvolve este aspecto afirmando: "neste trabalho quero estar independente de qualquer hipótese molecular portanto não tenho necessidade de olhar as concepções de Rankine" (p.66). Com efeito, nesta altura, Planck faz questão de se demarcar das teorias moleculares. Para o desenvolvimento da ideia de energia, diz ele, não precisa de aprofundar a teoria cinética

dos gases. No entanto, não nos esqueçamos que, contrariamente a Ostwald e Mach, Planck reduz todas as formas aparentes de energia às formas da energia mecânica. Esta ideia encontra eco em Planck pelo seu poder unificador. Mas Planck não é ainda um mecanicista radical. Não sente, portanto, necessidade de mergulhar nas hipóteses moleculares.

Basta-lhe considerar que o calor e o movimento são uma mesma forma de energia.

A Rankine, Planck critica também a tentativa de dar uma definição da energia demasiado geral que acaba por ter pouco valor em Física. Embora, tal como Helmholtz, ele distinga apenas duas formas de energia: a actual cinética e a potencial, a sua necessidade de uma generalização infinita das transformações de energia leva a uma perda importante de precisão. Diz Planck: "eu penso que uma dada definição em Física não tem grande valor quando é demasiado indeterminada. Não se pode considerar utilizável em Física uma definição que não permita para cada caso particular a determinação do valor numérico da grandeza definida" (p.77).

Contrasta, então, com a definição dada por Thomson:

"o calor recebido por um corpo depende do trabalho mecânico do exterior aplicado sobre o corpo. Se se subtrair o calor, correspondente ao trabalho aplicado, tem-se sempre o mesmo valor não importa o percurso de transferência" (Planck, p.72).

Esta definição aponta uma energia como função de estado, a energia interna.

A questão da prova e as dificuldades de aceitação

Planck dá, neste artigo, algum destaque às dificuldades de aceitação dos trabalhos de Mayer, Joule e Helmholtz, pela comunidade científica. Esta questão, interessar-lhe-á, porventura, por lhe permitir dar relevo à novidade da ideia e por lhe permitir enfatizar a natureza do conhecimento científico.

As resistências encontradas resultaram de uma certa desconfiança relativamente a eventuais ligações metafísicas e da eventual fraqueza das "provas". Planck utiliza, portanto, toda esta resistência para mostrar que estava em jogo uma nova visão do mundo físico e para mostrar como o desenvolvimento de novos conceitos científicos precisa de dar provas que permitam ultrapassar essa resistência. Essas provas vivem de diferentes e variados contributos. Estamos longe de um Planck que defenderá, com algum desânimo, que as novas ideias só poderão proliferar quando morrerem os antagonistas.

Planck afirma que a aceitação do princípio se consuma por volta de 1860. No entanto, a discussão em torno da noção de energia não acaba aí. Basta lembrar que Planck, em 1887, considera importante clarificar alguns aspectos da temática, sujeitos a más interpretações e utilizações. Não basta aceitar a conservação para se ser competente na sua aplicação à enorme diversidade de fenómenos, entrados em cena ao longo do século XIX.

A partir das primeiras publicações de Mayer (1842), Joule (1843) e Helmholtz (1847) o que é que vai seguir-se?

Antes de mais será necessário provar que existe um equivalente mecânico do calor e determinar o seu valor. Neste domínio várias serão as contribuições. Em 1858, Bosscha publica uma listagem de todos os cálculos realizados para a determinação do equivalente mecânico do calor (p.93). Este quadro dá conta dos diferentes métodos de cálculo: resultados obtidos por experiências directas ou resultados obtidos por meros cálculos. Este quadro torna patente a diferença entre os valores obtidos. Se se considerassem igualmente todos os resultados obtidos ter-se-ia de considerar que o equivalente mecânico do calor não existe. Mas os valores tidos em conta foram os dos experimentalistas mais conceituados da época: Joule e Hirn. Estes oscilavam entre 420 e 430kgm para uma caloria. Toda esta fase de trabalhos preparou o terreno para uma teoria mecânica do calor que será depois desenvolvida e aperfeiçoada.

Por outro lado, tornava-se necessário provar a existência dos equivalentes mecânicos⁴ de todas as outras formas aparentes de energia. A este respeito o trabalho de Helmholtz, publicado em 1847, é muito claro. Helmholtz com base na ideia de conservação da "Kraft" aplicada à diversidade de fenómenos emergentes na época vai chegar a resultados relativamente aos quais ainda não havia base empírica que os valorizasse. Ele próprio acaba o artigo fazendo apelo à imensidade do que fica por fazer.

Planck segue o esquema de Helmholtz:

"Eu quero mostrar que é muito importante a introdução exacta dos equivalentes das forças de cada fenómeno separadamente se se pretende aplicar o princípio de conservação da força" (p.53).

Por exemplo, Planck coloca-se a questão: será que existe uma energia electromagnética? Ao que vai responder não, mostrando que o que existe é uma energia eléctrica estática, uma

⁴ O termo de equivalente mecânico aqui é no sentido da definição de formas de energia, e não no sentido de coeficiente.

energia electrodinâmica e uma energia magnética. É a soma destas três formas de energia que dá a energia total electromagnética (p.90).

Assim, Planck parte para a discussão, com bastante detalhe, das diferentes formas de energia.

A validade e a fecundidade do princípio de conservação foi constatada num número significativo de casos o que começou a atrair as atenções e o interesse, diz Planck (p.71). Cada ano correspondia a novas conquistas neste domínio.

A palavra energia associada a este princípio de conservação nasce em Inglaterra com Kelvin (1851) e Rankine (1853). Talvez por ter sido utilizada por Young para designar a força viva. No continente, diz Planck, ela começa a ser utilizada a partir do momento em que Clausius a introduz na sua *Teoria do Calor*.

A partir do momento em que o princípio é aceite pela comunidade científica, diz Planck, começa uma nova época. "O princípio é um guia extraordinário para explorar novos terrenos" (p.101).

Em França, Planck constata que o princípio continua a ser olhado com grandes reservas até meados dos anos sessenta. "Os franceses não podiam renunciar tão depressa a uma teoria material do calor, em que eles tanto tinham investido " (p.81).

Este cientista não deixa de referir a importância de alguns discursos "populares" na difusão das novas ideias. Refere, nomeadamente o discurso de Helmholtz, em Fevereiro de 1854, sobre "As transformações da forças" (p.82).

Algumas considerações finais

Este texto vai longe na discussão sobre as transformações de energia de uma grande diversidade de fenómenos, nomeadamente no que diz respeito ao electromagnetismo e à termoelectricidade.

O nosso interesse maior neste texto consistiu em tentar perceber qual é a noção de energia emergente, qual o seu valor e quais os seus limites, e saber se o 2º princípio vem ou não contribuir, de alguma maneira, para uma maior clarificação da noção de energia.

Como vimos, Planck é muito claro ao dizer que o termo energia ganha valor em física pelo princípio que contém. Ou seja, todo o valor significativo da energia em física reside no princípio de conservação. Este, como diz Planck, estritamente tomado, não ensina nada para além das trocas das diferentes formas de energia, segundo proporções fixas. O princípio mete em cena as trocas, as variações de energia e não os valores absolutos. Ser capaz de aplicar a conservação pressupõe um conhecimento de todas as formas de energia e da sua

quantificação. Os fenómenos são bastante complexos. Veja-se, por exemplo, o caso dos efeitos térmicos das correntes eléctricas; não basta considerar o que é mais visível, o efeito de Joule, há também que considerar o efeito de Thomson, e nalguns casos especiais o efeito de Peltier. Este conhecimento precisa de uma componente empírica importante.

Como diz Planck, é preciso apoiar o princípio nos factos da experiência. Sigamos a estratégia de Mayer se queremos começar a construir uma ideia sólida de conservação, propõe-nos Planck. Foi o que fizemos ao privilegiarmos o pensamento de Mayer no desenvolvimento da parte Segunda deste trabalho.

É interessante contactar com um Planck que se assume herdeiro de três estilos tão diferentes como o são Mayer, Joule e Helmholtz.

Os outros cientistas citados têm a função de clarificar alguns aspectos, nomeadamente na interpretação do “calor”. Quando Clausius, Rankine e Thomson são referidos não é pelo lado do desenvolvimento do segundo princípio, onde tiveram um contributo importante, mas pelo lado da clarificação na aplicação da conservação da energia. Evidentemente que esta é, de certa forma, devedora de alguns desenvolvimentos que culminaram no segundo princípio. Aliás, quando Planck, tão claramente, refere o poder explicativo limitado da conservação da energia revela já um tempo muito diferente do tempo de um Mayer.

Este texto foi muito importante para nós pelo seu valor intrínseco e pelo contraste que nos permitirá estabelecer com um Planck revolucionário, sem o querer ser.

8.2.3 Sobre mais alguns textos de Planck reunidos no livro *Initiations à la Physique*

“toda a energia é a mesma e toda a natureza é o mesmo...”

Álvaro de Campos em “A passagem das horas”

Este livro é uma colectânea de textos correspondentes a um período de 25 anos, com início em 1909, data da primeira publicação do texto *L'Unité de la Conception de l'Univers en Physique*. Todos estes textos são, portanto, posteriores à formulação dos *quanta*. Correspondem, por isso, a uma fase de grandes mudanças na física. Estão escritos de uma forma elegante e acessível. Problematicam as finalidades da Física utilizando como instrumento principal a evolução de alguns conceitos, nomeadamente dos conceitos de energia e de entropia. Estes textos são muito preciosos, não só pelo que já foi dito, mas também pelo prazer de leitura que nos proporcionam e principalmente pela discussão em torno da natureza e do valor da energia. Através deles percebemos as grandes transformações do conhecimento físico que estão a ocorrer e os contrastes relativamente ao texto de 1887.

A exploração que deles faremos será motivada pela discussão em torno do valor científico e filosófico da energia. Tentaremos colocar em evidência como o desenvolvimento do conhecimento científico vai fazendo crescer o que se pode dizer, em termos científicos, da energia.

Alguns aspectos do texto "L'Unité de la Conception de l'Univers en Physique"

Este texto utiliza aquilo que foi um adquirido do texto de 1887: o único significado do termo energia em Física reside no princípio de conservação. No entanto, explorando o significado do princípio do aumento de entropia Planck vai poder fazer contrastes com o princípio de conservação colocando, assim, em evidência aquilo que ele considera ser a sua natureza.

Planck pretende mostrar que o desenvolvimento da Física se faz no sentido de uma certa unidade da concepção do universo físico. As noções nascem com uma raiz antropomórfica que vão perdendo à medida que a noção evolui para a forma que será cientificamente aceite.

No que se refere à noção de energia, "première démarche faite dans le but de réaliser l'unité de la physique" (p.13), Planck vai mostrar que a sua evolução se faz neste sentido. O segundo princípio servir-lhe-á para ilustrar como tem sido intensa a discussão ao longo da sua

evolução e como "nous voyons en effet ce principe pour ainsi dire non encore dépouillé de la gangue où il était enrobé à l'origine de son développement" (p.14). Com efeito, Planck escreve:

"Le second principe de la thermodynamique, du moins tel qu'on le comprend le plus ordinairement, possède, actuellement encore, un caractère anthropomorphique des plus nets" (p.14).

À medida que as noções se vão afastando das percepções sensoriais elas tornam-se mais abstractas e, por isso, como diz Planck, o universo concebido através da Física é menos colorido que o universo que cada um de nós percebe mas, em contrapartida, tem o poder de nos fazer aceder à "realidade" invisível. Relativamente a essa perda de "cor" escreve:

"si nous nous rappelons les caractères principaux de cette évolution tels que nous les avons décrits tout à l'heure nous devons bien convenir que l'image future comparée à la magnificence et à la richesse de couleurs de l'image passée risque de paraître bien terne et bien froide. L'ancienne image reflétait en effet la diversité des besoins humains et tous les genres de sensations spécifiques y avaient apporté leur contribution. L'image moderne au contraire a été dépouillée de tout caractère d'évidence immédiatement tangible et c'est là un grave inconvénient quand on en vient à l'épreuve de la confrontation avec la réalité" (p.31).

Quer isto dizer que nos afastámos da realidade? Do ponto de vista de Planck não, uma vez que ele acredita que a evolução da Física se realiza no sentido de uma aproximação à realidade. Para Planck a conservação da energia "était déjà valable dans la nature avant qu'il y eût des hommes qui pussent y songer" (p.33).

Na parte final do artigo Planck dirige um ataque a Mach suscitando com isso uma reacção deste último, como veremos no capítulo 9. O que nos interessa agora é destacar, essencialmente, a forma como Planck apresenta a evolução da noção de energia numa primeira fase até ao enunciado do princípio de conservação e posteriormente o que é que a noção de energia ganha com o desenvolvimento do segundo princípio.

A história do princípio de conservação da energia

Como já vimos, Planck considera a descoberta do princípio de conservação da energia um primeiro passo para a realização da tão celebrada unidade do mundo físico:

"La notion d'énergie est, en effet, avec les notions de temps et d'espace, la seule qui soit commune à toutes les branches de la physique. Il est donc naturel que ce principe, avant de recevoir la forme générale que lui ont donnée Lothar Mayer, Joule et Helmholtz, ait eu, lui aussi, un caractère anthropomorphique. Il repose en effet sur la simple constatation qu'il est impossible à l'homme de tirer de rien, un effet utile. Cette constatation résume le résultat des expériences faites en vue de résoudre un problème technique: celui du mouvement perpétuel. Comme autrefois l'art des faiseurs d'or, la recherche du mouvement perpétuel a entraîné des conséquences allant très loin, avec cette différence, cependant, que ce furent les échecs et non pas les résultats positifs obtenus, qui tournèrent au profit de la science" (p.13).

Aqui, Planck segue de muito perto o texto de Helmholtz de divulgação sobre a conservação da força. Continua, afirmando:

"aujourd'hui, on formule le principe de conservation de l'énergie sans faire aucunement appel à un point de vue anthropomorphique ou technique. Nous disons que l'énergie totale d'un système clos est une grandeur qui ne peut être diminuée ni augmentée par aucun des phénomènes qui se passent à l'intérieur de ce système et n'avons aucunement l'idée de faire dépendre l'exactitude de notre postulat du plus ou moins perfection atteint par les méthodes dont nous disposons pour vérifier si tel mouvement est, oui ou non, un mouvement perpétuel. Strictement parlant la généralisation du principe l'a rendu indémontrable, mais il ne s'en impose qu'avec plus de force. Or c'est en cela précisément que consiste la libération de l'anthropomorphisme dont il a été question plus haut. Nous voyons donc aujourd'hui le principe de la conservation de l'énergie faire figure de construction pleinement autonome, après qu'ont été coupés les liens qui le rattachaient aux contingences ayant présidé à sa naissance" (p.14).

Este texto centra-se fortemente sobre o princípio de Clausius, mais tarde denominado segundo princípio da termodinâmica, por ser este que na altura ainda põe problemas quanto ao seu valor e quanto à sua interpretação. Nomeadamente, o reconhecimento da sua natureza probabilística foi, no que diz respeito a Planck, uma evolução dolorosa. Contudo, o resultado desta passagem traduziu-se por um ganho explicativo e unificador. Ele vai permitir o

agrupamento dos fenómenos físicos em duas grandes categorias: os fenómenos reversíveis e os fenómenos irreversíveis. Esta unificação poderá parecer de ordem inferior à unificação realizada pela conservação da energia. Tal não é o caso, pois não basta conseguir unificar, é preciso ganhar, com isso, inteligibilidade. A unificação que Planck então propõe é valiosa porque não ignora o comportamento da “natureza”. Com essa ideia ele releva a “existência” da natureza.

O que nos interessa, essencialmente, no acompanhamento deste artigo é ver como é que o 2º princípio se liga com o princípio de conservação. Aliás, esta é a questão de partida do procedimento de Planck:

"Examinons d'abord, d'un peu près, la signification de ce dernier [deuxième principe] et cherchons les liens qui le rattachent au principe de la conservation de l'énergie. Le principe de la conservation de l'énergie déclare qu'il n'y a de possibles, parmi les phénomènes naturels, que ceux où il n'y a ni création ni anéantissement, mais simplement transformation d'énergie; le second principe allant plus loin, dit que toutes les transformations d'énergie ne sont pas possibles mais seulement un certain nombre d'entre elles et dans certaines conditions" (p.15) (o sublinhado é nosso).

Se o princípio de conservação da energia, que implicou uma transformação do olhar sobre o mundo físico, se desenvolveu sob a égide da equivalência (os textos de Mayer e de Helmholtz testemunham bem este facto), esta equivalência é, no entanto, muito limitada e não nos permite compreender a evolução dos fenómenos físicos. O segundo princípio, depois de todo um percurso, permite desenvolver a consciência de que há fenómenos de natureza substancialmente diferente. A oscilação (não amortecida) de um pêndulo é irremediavelmente diferente da condução de calor entre dois corpos a temperaturas diferentes.

Se é verdade que foram defraudadas as grandes esperanças, colocadas na noção de energia, numa unificação reducionista (mecanicistas) de todas as áreas da Física, o segundo princípio vem, de acordo com Planck, dar novo cabimento a este tipo de esperanças. Na verdade, vem permitir olhar para o universo através de apenas duas classes de fenómenos: os reversíveis e os irreversíveis. Mas estes serão agora encarados na sua natureza como irredutivelmente diferentes. Já estamos muito longe dos primeiros tempos em que Helmholtz apresentou o princípio de conservação da "força", em que a esperança que o animava era a possibilidade de redução de todos os fenómenos físicos aos fenómenos mecânicos; já estamos muito longe das ideias de um Mayer em que falar de movimento é equivalente a falar de calor - sem, contudo, reduzir o movimento ao calor e vice-versa - porque o mesmo actor está em cena: "a força", no

sentido actual de energia. Ou, como dirá mais tarde o poeta Fernando Pessoa: "toda a energia é a mesma e toda a natureza é o mesmo..." (frase em epígrafe).

Para Planck, e contrariamente aos energetistas, a energia não é tudo:

"effectivement tous les phénomènes réversibles, qu'ils aient lieu dans la matière, dans l'éther ou dans les deux à la fois, se ressemblent beaucoup plus entre eux qu'ils ne ressemblent à un phénomène irréversible quelconque" (p.20).

Ou como é dito mais adiante:

"Le contraste existant entre les phénomènes irréversibles et les phénomènes réversibles est bien plus profond que celui qui oppose, par exemple, les phénomènes mécaniques et les phénomènes électriques" (p.21).

O desenvolvimento da medida e do significado da irreversibilidade foi um processo de grandes confrontos. Planck conta-nos a história deste princípio na perspectiva já, atrás, anunciada: a evolução para formas mais elaboradas de medir a irreversibilidade corresponde a uma libertação de perspectivas antropomórficas. A este respeito escreve:

"quelles sont maintenant les propriétés générales et caractéristiques des phénomènes irréversibles? Comment s'y prendre pour apprécier quantitativement le degré d'irréversibilité d'un phénomène, celle-ci étant prise dans son acception la plus générale? Cette question a été envisagée de points de vue les plus divers et on l'a résolue de bien de façons" (p.16).

Uma história para o segundo princípio

Planck começa a história com a noção de irreversibilidade em Sadi Carnot. Nesse sentido afirma que Carnot se deu conta

"que les processus irréversibles sont moins avantageux économiquement que les processus réversibles (...), car, dans un processus irréversible, on laisse inutilisée une certaine possibilité théorique de produire du travail mécanique en dépensant de la chaleur. De cette remarque à l'idée de prendre pour mesure de l'irréversibilité d'un

phénomène la proportion de travail mécanique qui doit être perdue définitivement (...) il n'y avait qu'un pas" (p.17).

Mas determinar a quantidade de trabalho perdida definitivamente não era tarefa fácil. Planck vai mostrar como aparece uma certa ambiguidade nesta determinação através de um exemplo:

"La conductibilité thermique est un phénomène irréversible; car, pour parler comme Clausius, la chaleur ne peut pas passer, sans compensation, d'un corps froid à un corps plus chaud. Quel est donc le travail qui est perdu quand la quantité de chaleur Q (supposée petite) passe par conductibilité d'un corps chaud ayant la température T_1 à un corps froid ayant la température T_2 ?" (p.17).

Para fazer este cálculo Planck segue a estratégia de Clausius, ou seja imagina um ciclo de Carnot para determinar o trabalho perdido. Mas como o próprio Clausius constatou, este cálculo é indeterminado porque vai ter dois resultados diferentes consoante se considere no ciclo a quantidade de calor transportada a cedida pelo corpo quente ou a recebida pelo corpo frio:

"Clausius s'est d'ailleurs parfaitement rendu compte qu'il y avait là une indétermination irréductible, c'est pourquoi il a généralisé le cas du cycle de Carnot simple en admettant l'existence d'un troisième réservoir dont la température est tout à fait indéterminée, qui fournit donc un travail non moins indéterminé.

"L'artifice proposé plus haut pour trouver une expression mathématique de l'irréversibilité d'un phénomène ne nous a donc pas conduit au but et nous savons maintenant pourquoi: c'est que le problème a été posé en termes trop anthropomorphiques. On s'est placé pour le résoudre au point de vue des besoins de l'homme pour lequel produire du travail utile est ce qui importe avant tout. Pour obtenir de la nature une réponse appropriée, il faut la considérer d'un point de vue plus général en faisant abstraction des préoccupations économiques" (p.18, o sublinhado é nosso).

Planck vai, então procurar outro ponto de vista. E o ponto de vista adequado será centrar-se no estado do sistema. Diz ele que se um sistema passou de um estado A a um estado B e se

"le retour intégral à l'état A est impossible, c'est à dire si le processus est irréversible, c'est que l'état B possède une certaine propriété en vertu de laquelle il jouit d'une sorte de précellence naturelle sur l'état A. J'ai exprimé ceci, il y a déjà bien longtemps, en disant

que la nature a plus de propension pour l'état B que pour l'état A" (p.19, o sublinhado é nosso).

Colocando-se deste ponto de vista o que há a fazer é procurar

"une grandeur physique susceptible de pouvoir servir à mesurer, d'une manière tout à fait générale, la préférence qu'a la nature pour un état donné. Cette grandeur devra être déterminée immédiatement par l'état du système considéré, sans qu'on ait besoin de connaître quoi que ce soit de son histoire antérieure. Elle ressemblera donc en cela à l'énergie, au volume et aux autres caractéristiques de ce système" (p.19, o sublinhado é nosso).

Por outro lado, como esta grandeza deve traduzir a maior propensão para um determinado estado será razoável impor como condição que esta grandeza cresça

"toutes les fois que le système subira une transformation irréversible tandis qu'elle restera constante pour toutes les transformations réversibles. Ces conditions remplies, on pourra évidemment dire que la variation de la grandeur en question lors d'une transformation, est une mesure de l'irréversibilité de cette transformation" (p.19).

Planck refere que quem descobriu esta grandeza foi Clausius, não fazendo qualquer referência à noção de dissipação de energia desenvolvida por Kelvin e omitindo as grandes discussões que se travaram entre Tait e Clausius sobre o significado do novo conceito em desenvolvimento. A história que Planck conta contém a sua visão de progresso do conhecimento científico. Ele prossegue orientado por uma certa linearidade cronológica, o que ajuda a melhor destacar os diferentes pontos de vista que emergem ao longo do desenvolvimento temporal de um conceito.

A esta grandeza dará Clausius o nome de entropia que, como vimos, significa transformação. Planck introduz esta noção da seguinte forma:

"tout système formé par des corps dans un état quelconque possède une entropie déterminée et cette entropie représente le degré de préférence qu'a la nature pour la réalisation de cet état. Quelles que soient les modifications internes dont le système peut être le siège, l'entropie ne peut que croître, jamais diminuer" (p.19).

Clausius estabeleceu que

"si un corps reçoit de la chaleur, son entropie augmente d'une quantité égale au quotient de la chaleur reçue par la température du corps, par contre, une simple compression ne modifie pas l'entropie" (p.20).

A ambiguidade atrás referida desaparece e

"le second principe de la thermodynamique avec toutes ses conséquences est donc devenu le principe de l'augmentation de l'entropie" (p.22).

Se, na verdade, se deu um passo, como Planck mostrou, na direcção da libertação de considerações antropomórficas, esta libertação não foi, no entanto, total. Com efeito, como refere Planck, o cálculo da variação da entropia continua dependente da consideração de um ciclo de Carnot, que é ideal e, portanto, baseado num limite não realizável (por enquanto):

"néanmoins la classification qui vient d'être exposée a besoin d'une amélioration essentielle. Il est en effet indéniable que, même sous la forme que nous venons de lui donner, la systématique physique est encore fortement entachée d'antropomorphisme. Dans la définition de l'entropie nous avons eu recours, en effet, à l'idée de «réalisabilité» de certains changements dans l'univers, ce qui revient, en fin de compte, à rendre la classification des phénomènes physiques dépendante du plus ou moins d'efficacité de la technique expérimentale humaine; or la perfection de cette dernière, bien loin d'être immuable, progresse sans cesse" (p.22).

Apontando para uma necessidade de melhoria da definição de entropia Planck volta atrás, retomando a primeira definição de irreversibilidade, para melhor evidenciar, através de um exemplo, o que está em jogo. Nesse sentido, escreve:

"notre première définition de l'irréversibilité était vicieuse, comme nous l'avons déjà dit, parcequ'elle suppose l'existence d'une limite déterminée pour les capacités humaines. Or il n'y a rien, en réalité, qui puisse permettre de déceler l'existence d'une telle limite. Au contraire, nous voyons le genre humain tendre de toutes ses forces à reculer toujours plus loin les bornes de l'efficacité de son effort; et nous espérons que, parmi les choses tenues aujourd'hui pour impossibles, il y en aura beaucoup qui se feront demain. On pourrait alors se demander si un phénomène qui a toujours été jusqu'à présent considéré comme irréversible, ne pourrait être reconnu plus tard comme étant en réalité réversible, par suite d'une invention nouvelle. Ceci entraînerait inévitablement la ruine du second principe de

la thermodynamique, car l'irréversibilité d'un seul phénomène conditionne, on peut s'en convaincre facilement, celle de tous les autres" (p.22).

Bastará, para isso, encontrar uma situação em que um fenómeno irreversível passe a produzir trabalho útil, por efeito de uma melhoria técnica. Para isso o movimento browniano – muito em destaque na época, pela interpretação de Einstein – vai ser muito útil. Sigamos, então, o raciocínio de Planck:

"Prenons un exemple concret: le mouvement tremblottant, si singulier et si facilement observable, exécuté par de petites particules suspendues dans un liquide dénommé mouvement brownien, est regardé selon les théories les plus récentes comme la conséquence des chocs des molécules du liquide contre les particules. Or si l'on pouvait, sans faire une dépense appréciable de travail, au moyen d'un dispositif extrêmement délicat, arriver à disposer et à diriger séparément chacune de ces particules de telle sorte que le mouvement brownien de désordonné devint ordonné, on aurait, sans aucun doute, trouvé le moyen de transformer sans compensation la chaleur du liquide en une force vive, appréciable, par des moyens grossiers, donc utilisables, ce qui est en pleine contradiction avec le second principe. Admettre la possibilité d'un tel dispositif serait détrôner le postulat de Carnot-Clausius de son rang de principe, en même temps qu'on le rendrait dépendant des progrès de la technique expérimentale. Pour lui conserver sa signification principielle, un seul moyen reste alors: c'est de formuler la notion d'irréversibilité de façon à la rendre indépendante de toute considération anthropomorphique" (p.23).

Este exemplo, mais actualizado, não deixa de ser uma versão do demónio de Maxwell. O que Planck mostra é que a associação da entropia ao movimento desordenado põe alguns problemas. É o que poderemos facilmente apreciar nalgumas obras contemporâneas, como é o caso, por exemplo, de *Entre le Temps et l'Éternité* (de Prigogine e Stengers). Para Planck é ponto assente que

"la notion d'irréversibilité se ramène à celle d'entropie, tout phénomène irréversible étant lié à une augmentation d'entropie. Tout revient donc à perfectionner la définition d'entropie" (p.23, o sublinhado é nosso).

Planck não deixará de discutir a estratégia de Clausius, centrada no recurso a idealizações – realização do ciclo de Carnot –, perguntando-se até que ponto será necessário um artifício

desta natureza para chegar a resultados que não são senão relações entre grandezas naturais. Assim, escreve:

"aussi ne peut-on s'empêcher de conjecturer que l'admission, à titre d'intermédiaires, des processus idéaux, n'a, au fond, pas d'autre signification que celle d'un détour pour résoudre un système d'équations. Le véritable contenu du principe de l'augmentation de l'entropie avec toutes les conséquences qu'il entraîne peut donc être désolidarisé de la notion d'irréversibilité sous sa forme primitive, c'est à dire de l'idée de l'impossibilité du «*perpetum mobile*» de seconde espèce, tout comme le principe de la conservation de l'énergie a pu être désolidarisé de l'idée de l'impossibilité du «*perpetum mobile*» de première espèce" (p.25).

Com este raciocínio Planck consegue evidenciar a necessidade de levar a noção de entropia por caminhos não antropomórficos. Neste caso, esse passo, traduzir-se-á por uma separação completa da ideia de impossibilidade de movimento perpétuo de segunda espécie. É o que fará Boltzmann que, como diz Planck,

"a fait du postulat de Clausius un véritable principe. Nous la [l'œuvre de Boltzmann] résumerons en disant qu'elle a consisté, d'une manière générale, à ramener le concept d'entropie à celui de probabilité. Telle est la raison pour laquelle j'ai employé plus haut le mot de «préférence» en disant que la nature avait de la «préférence» pour un certain état. La nature préfère les états les plus probables aux autres" (p.25).

Esta ideia de “preferência da natureza” não inclui os elementos antropomórficos das designações de degradação ou de dissipação e dá um relevo à natureza.

A questão que se segue, será, então, a de encontrar o meio de calcular a probabilidade de um determinado estado: "la théorie atomique", diz Planck, "en introduisant les considérations statistiques permet, étant donné un état pris par un système de corps, de calculer la valeur de la probabilité de cet état" (p.25). Embora este passo tenha sido muito importante no que diz respeito à unificação que permite, Planck não deixou de sentir uma certa resistência na adesão a esta nova teoria. Para alguém que, como ele, acredita na realidade das noções físicas não deixará de ser desconfortável aceitar uma noção de carácter probabilístico. Mas em nome da unificação do universo ele está disposto a pagar esse preço. Com efeito, Planck afirma:

"il importe cependant de ne pas se le dissimuler, ce nouveau progrès dans l'unification de nos conceptions de l'univers a dû être payé de quelques sacrifices. Le principal est la

renonciation à répondre à toutes les questions portant sur le détail des phénomènes physiques, cette renonciation est inhérente à l'adoption du point de vue statistique en vertu de quoi on ne parle, en effet, plus que de valeurs moyennes et on ne dit plus rien de chacun des éléments pris à part, dont se compose cette moyenne, l'introduction de liens causals de deux sortes différentes pour rendre compte des phénomènes physiques nous semble être un autre inconvénient sérieux; car d'une part, nous avons une nécessité rigoureuse et de l'autre une simple probabilité" (p.26).

E continua, fazendo apelo a dois exemplos para melhor ilustrar esta diferença:

"si un liquide pesant au repos tend à avoir le plus bas niveau possible, cela est nécessaire, d'après le principe de la conservation de l'énergie, car un corps ne peut se mettre en mouvement que si son énergie cinétique augmente, donc si son énergie potentielle diminue, c'est-à-dire si son centre de gravité s'abaisse. Par contre, si un corps chaud cède de la chaleur à un corps plus froid, il ne s'agit là que d'une énorme probabilité et non pas d'une nécessité absolue. On peut en effet parfaitement concevoir un arrangement spécial des atomes ayant des vitesses telles qu'il s'en suivrait exactement le contraire. D'ailleurs Boltzmann tire de ses théories la conclusion que des phénomènes étranges tout à fait contraires au second principe de la thermodynamique peuvent parfaitement se produire et il leur assigne une place dans son système de l'univers" (p.26).

Aqui Planck apressa-se a dizer que não pode seguir Boltzmann na concepção de um universo

"où se passeraient des choses aussi étranges que le reflux de la chaleur d'un corps froid vers un corps plus chaud ou la démixtion spontanée de deux gas ayant diffusé l'un dans l'autre, ne serait plus notre univers. Tant que nous aurons affaire à ce dernier, il convient de ne pas admettre ces processus étranges et de rechercher au contraire quel est l'état de choses très général qui s'oppose à des réalisations de ce genre dans la nature" (p.26).

Planck não renuncia, portanto, à natureza, ela aí está com todo o seu poder. A bizarria destas ideias deixa Planck muito insatisfeito, mas o próprio Boltzmann aponta para uma possível saída através da sua hipótese de «desordem elementar». Diz Planck:

"cette condition, une fois introduite, la nécessité se trouve rétablie dans le cours des choses; car il suffit alors d'appliquer les règles du calcul des probabilités pour en déduire la loi de l'augmentation de l'entropie comme une conséquence directe" (p.27)¹.

Como relacionar então a probabilidade com a entropia de um sistema, pergunta-se Planck:

"On peut la déduire de la simple remarque que la probabilité de deux systèmes indépendants est égale au produit des probabilités de chacun des systèmes composants ($W=W_1W_2$); tandis que l'entropie totale est égale à la somme des entropies partielles. L'entropie est donc proportionnelle au logarithme de la probabilité ($S=k\log W$)" (p.27).

Esta forma de calcular a entropia é bastante geral, aspecto muito valioso para Planck, e está definitivamente distanciada de considerações antropomórficas. Neste sentido Planck afirma:

"Ce théorème va nous fournir une méthode pour calculer l'entropie dont la portée dépasse de loin celle des anciens artifices de la thermodynamique. La nouvelle définition de l'entropie peut, notamment, s'étendre à n'importe quel état dynamique et non pas aux seuls états d'équilibre, habituellement étudiés par la thermodynamique. De plus, pour calculer la valeur de l'entropie, il n'est plus nécessaire de considérer, comme le faisait Clausius, un système qui parcourt un cycle fermé, cycle dont la possibilité de réalisation paraît toujours plus ou moins douteuse. Enfin, comme conséquence de cette indépendance de tout artifice, la nouvelle définition se trouve être purgée de tout anthropomorphisme; c'est pourquoi elle est susceptible de donner un fondement réel au second principe de la thermodynamique" (p.27).

Com esta definição de entropia é possível abranger fenômenos que, aparentemente, seriam contraditórios com o segundo princípio. A este respeito escreve Planck:

"Je n'ajouterai qu'une dernière remarque, extrêmement important, il est vrai; cette remarque se rattache à la liaison qui a été établie entre les notions d'entropie et celle de probabilité. Nous avons cité plus haut le théorème d'après lequel la probabilité du système résultant de la réunion de deux systèmes est le produit de la probabilité de chacun des deux systèmes composants; or ce théorème ne s'applique que dans le cas de deux systèmes indépendants, cette indépendance étant prise dans le sens où l'on entend ce

¹ Imaginar a simulação do demônio de Maxwell, se se introduzirem as expressões probabilísticas poderá verificar-se que a partir de determinada altura torna-se, nitidamente impossível separar as moléculas de velocidades diferentes.

terme dans le calcul des probabilités. S'il n'en est pas ainsi, la probabilité résultante ne sera plus égale au produit des probabilités partielles. Il est donc plausible qu'il y ait des cas où l'entropie totale d'un système ne soit pas égale à la somme des entropies propres aux différentes parties de ce système et, effectivement, Max Laue a prouvé qu'on pouvait trouver dans la nature des exemples de phénomènes où il en était ainsi" (p.29).

Há, portanto, casos em que "le vieux principe de Clausius qui veut que la chaleur ne puisse pas passer sans compensation d'un corps froid dans un corps plus chaud ne s'applique pas" (p.29), como é o caso, por exemplo, dos raios luminosos coerentes. Contudo, continua Planck,

"même dans ce cas, le principe de l'augmentation de l'entropie conserve sa valeur, si l'on tient compte de ce que l'entropie du rayonnement total n'est pas égale à la somme des entropies de chaque rayon composant, mais est plus petite que cette somme" (p.29).

Com esta interpretação Planck fica armado para abordar o exemplo, anteriormente referido, do movimento browniano:

"le problème posé plus haut de la transformation du mouvement brownien en travail utilisable soulève une remarque tout à fait analogue. Un dispositif qui aurait pour effet de diriger et de mettre en ordre le mouvement des particules, qu'il soit réalisable techniquement ou non, devrait, en effet, nécessairement posséder une certaine cohérence avec le mouvement particulaire lui-même, ceci étant admis, il ne serait nullement contradictoire avec le second principe de la thermodynamique d'admettre que ce dispositif en fonctionnant puisse produire du travail utilisable. pour lever la contradiction apparente, il suffirait d'observer qu'on ne doit pas additionner l'entropie propre au dispositif et celle qui est propre au mouvement brownien. On voit par là suffisamment combien il faut être prudent dans le calcul de l'entropie d'un système composé à partir de l'entropie des systèmes composants. Si l'on veut raisonner d'une façon rigoureuse, il faut prendre séparément chacun des sous-systèmes et se demander tout d'abord s'il n'existe pas quelque part ailleurs, dans le système total, un autre sous-système qui soit cohérent avec le premier" (p.30).

Com esta hipótese, Planck

"écarte de notre monde la mort par congélation, qui lui est réservée, au dire de nombreux physiciens et philosophes. Et du même coup le principe de Carnot-Clausius perdrait le

caractère antipathique que l'on lui reconnaît assez habituellement, sans qu'on soit obligé de mettre en doute sa validité générale" (p.30).

Muitas vezes o ensino da Termodinâmica ainda se fica pela visão pessimista do fim do século XIX. Ora, como diz Planck, "un simple regard jeté sur l'extension indéfinie du monde tel qu'il s'offre à nos observations suffit à nous rassurer" (p.30, o sublinhado é nosso).

Considerações Finais

Com este texto foi possível evidenciar o papel fundamental do reconhecimento da natureza diferente entre fenómenos reversíveis e fenómenos irreversíveis no desenvolvimento de um segundo princípio com um valor geral.

Se o princípio de conservação vinha permitir abordar de forma similar fenómenos que até essa data eram considerados separadamente, o segundo princípio vem dizer que não poderemos olhar da mesma maneira o movimento de oscilação de um pêndulo (sem amortecimento) e a condução de calor entre corpos a temperaturas diferentes.

Esta posição marca bem a diferença entre Planck e Ostwald, que, como vimos, continuará a tratar todos os fenómenos sob a égide da energia. Como diz Planck na sua *Autobiographie Scientifique*:

"Une autre controverse naquit à propos de l'analogie entre le passage de la chaleur d'une température plus haute à une plus basse et la chute d'un poids d'une certaine hauteur à une hauteur moindre. J'avais insisté de bonne heure sur la nécessité d'une nette distinction entre les deux processus, car ils diffèrent l'un de l'autre aussi essentiellement que le premier et le second principe de la thermodynamique. (...) Ils [certains physiciens] créèrent, par opposition à la théorie thermodynamique de Clausius, la science qu'ils appelèrent «l'énergétique». La première proposition fondamentale de l'énergétique, tout de même que la théorie de Clausius, exprime le principe de la conservation de l'énergie; mais la seconde proposition, qui doit indiquer le sens de tous les événements physiques, postule une analogie parfaite entre le passage de la chaleur d'une certaine température à une température plus basse et la chute d'un poids d'une certaine hauteur à une hauteur moindre.

(...) C'est une des plus pénibles expériences de ma vie scientifique tout entière, que j'aie bien rarement - et en fait, je pourrais dire que je n'aie jamais - réussi à obtenir l'assentiment universel pour un résultat nouveau, dont je pouvais démontrer la vérité par une décisive, encore que simplement théorique, démonstration. C'est précisément ce qui m'arriva à ce moment-là. Tous mes excellents arguments tombaient dans des oreilles

sourdes. Il était complètement impossible d'être entendu à l'encontre d'autorités qui s'appelaient W. Ostwald, G. Helm et E. Mach. J'étais fermement convaincu que ma règle d'une différence fondamentale entre la propagation de la chaleur et la chute d'un poids serait finalement reconnue exacte; mais l'ennui c'était que je ne pourrais pas du tout avoir la satisfaction de voir en personne ma victoire" (p.82).

Um aspecto importante parece-nos ser a utilização de determinado vocabulário: a utilização da expressão "preferência da natureza" no enunciado do segundo princípio. Será interessante comparar com as utilizações feitas escolarmente: degradação e "running down". Planck diria que estas utilizações correspondem ainda a versões antropomórficas do segundo princípio. Não será esse o aspecto importante da questão, no entanto, esta abordagem permite-nos dar ênfase a uma certa falta de coerência. Por exemplo, Solomon propõe, pelo facto de o primeiro princípio ser tão difícil de ensinar - ela está a pensar na versão depurada do princípio: balanço entre determinadas quantidades - que se ensine o segundo princípio primeiro. No entanto, para este não propõe a forma mais depurada.

Planck, neste artigo, leva bastante mais tempo a discutir o segundo princípio do que o primeiro, porque o segundo princípio ainda era objecto de interpretações diversas. No entanto, percebe-se, pela leitura do texto que a energia continua, em Planck, a ocupar um lugar central.

Da história contada do segundo princípio poderemos percepçionar as dificuldades de transformação na forma de pensar que são indispensáveis, e podemos apreciar como essa transformação não se deu sem dor em Planck. Para que este princípio tenha uma forma geral e que "encontre" a variedade de situações e de acontecimentos que ocorrem na natureza tem de fazer apelo à noção probabilística de entropia.

Alguns aspectos do texto "Voies d'Accès Nouvelles à la Connaissance en Physique"

Neste texto de Planck contactamos com uma "paisagem" em grande mutação: o desenvolvimento da física experimental. Esta mutação parece dar lugar a uma certa inquietação no que diz respeito ao conhecimento teórico:

"Nous voyons les physiciens se débattre un peu à l'aveuglette comme s'ils étaient déroutés par des découvertes expérimentales trop nombreuses, survenues en même temps, et dont une bonne part étaient totalement imprévues. Partout nous voyons attaquées les opinions anciennes, même les plus solidement enracinées; les postulats les plus incontestés sont ébranlés et font place à des hypothèses nouvelles" (p.39).

Se, por um lado, podemos fazer o paralelo com o que se passou no princípio do séc.XIX, por outro lado, estamos já muito longe do amadorismo dessa época. Esta eficácia da física experimental deriva de uma organização institucional: a profissionalização dos cientistas. E é a Alemanha o país onde esta profissionalização mais se desenvolve.

A máquina a vapor, objecto de fascínio de cientistas e artistas do séc.XIX, dá agora lugar a outros objectos de interesse geral:

"les ondes de la télégraphie sans fil, les électrons, les rayons X, les phénomènes de radioactivité intéressent plus au moins tout le monde" (p.39).

Estes novos objectos de interesse já nada têm em comum com a máquina a vapor, onde "tudo" era tão visível.

Planck mostrará como num clima de grandes perturbações os grandes princípios, cuja realidade ele defende, saem indemnes. Embora se tenha a impressão que "la physique théorique actuelle donne l'impression d'un vieil édifice vénérable, mais vermoulu, dont les murs commencent à s'effriter et dont les fondements mêmes sont menacés de ruine" (p.40), não é mais do que uma primeira impressão. Com efeito, Planck afirma que

"les véritables fondements de la physique n'ont jamais été aussi solidement assis qu'à l'heure actuelle" (p.40).

Para exhibir isso a energia estará mais uma vez em destaque, daí o nosso interesse.

Neste texto, Planck introduz a ideia de “atomização” da energia para o grande público. Dado o seu protagonismo no desenvolvimento desta ideia, vale a pena seguir o raciocínio aí exposto.

Ideias incompatíveis com os novos factos

Dadas as grandes transformações em curso e dada a concepção de Planck sobre a natureza do conhecimento científico, torna-se necessário, para Planck, encarar as teorias de um prisma tal que reforce a sua ideia de realidade dos conceitos físicos. Para isso, este autor compara uma teoria a um organismo:

"on pourrait donc comparer une théorie à un organisme compliqué dont les parties sont liées intimement et de multiples façons, aussi toute attaque portant sur un point aura sa répercussion en plusieurs autres, peut-être très éloignés du premier. On peut donc s'attendre à des contrecoups pas toujours faciles à prévoir. d'autre part, toute théorie étant la résultante de plusieurs propositions, s'il y a un insuccès, il sera en général possible d'en faire remonter la responsabilité à plusieurs et, par suite, il y aura aussi plusieurs moyens de remettre la théorie d'accord avec l'expérience. Ordinairement, quand on a fini de discuter le problème, on aboutit à deux ou trois propositions ayant jusqu'alors fait bon ménage à l'intérieur de la théorie et dont au moins une doit être sacrifiée pour pouvoir maintenir l'accord avec les faits. La lutte entre ces propositions dure souvent des années, voire des dizaines d'années, et la victoire finale signifie, non seulement l'élimination d'une des propositions, mais aussi, il ne faut pas l'oublier, la consolidation de celles qui ont été victorieuses; ces dernières acquièrent, par là même, un rang plus élevé" (p.41).

A consolidação dos grandes princípios vale bem o preço a pagar, que se traduzirá pelo abandono de alguns postulados:

“si nous avons à résumer brièvement l'évolution la plus récente des théories physiques, nous dirions donc qu'elle est caractérisée par la victoire des grandes principes sur des idées, certes profondément enracinées, mais surtout par la force de l'habitude" (p.41).

Quais são estas ideias? Planck refere três: "le postulat de l'invariabilité des atomes, celui de l'indépendance réciproque du temps et de l'espace, et celui de la continuité de toutes les actions dynamiques" (p.42).

No que nos diz respeito, abordaremos apenas as problemáticas da invariabilidade dos átomos e da continuidade de todas as acções dinâmicas porque são as que têm pontos de contacto com a problemática da energia.

A invariabilidade dos átomos e a conservação da energia

O conflito entre a invariabilidade dos átomos e a conservação da energia é posta em cena por Planck de uma forma bastante clara, e que por isso mesmo vale a pena transcrever:

"Je me contenterai de citer un seul fait qui devait fatalement déclencher un conflit entre l'ancienne idée de l'invariabilité des atomes et un grand principe général de la physique; je veux dire l'émission de chaleur perpétuelle qui est le propre de tous les composés du radium. Dans ce cas, le principe auquel se heurte est le principe de la conservation de l'énergie. S'il y a eu, au début du conflit, quelques voix pour mettre en doute la validité de ce principe, nous le voyons remporter aujourd'hui une éclatante victoire.

Un sel de radium enfermé sous une enveloppe de plomb suffisamment épaisse émet continuellement de la chaleur, cette quantité de chaleur est de 135 calories par gramme de radium et par heure. L'échantillon de radium reste donc continuellement plus chaud que son entourage, il en est de lui comme d'un four qui est chauffé. Mais le principe de la conservation de l'énergie s'oppose à ce que cette chaleur vienne de rien; elle doit donc être causée par une transformation quelconque équivalente. Dans le cas du four, l'origine de la chaleur dégagée doit être recherchée dans les phénomènes de combustion dont il est le siège. Mais dans le cas du radium, comme il n'y a aucun autre phénomène chimique qui soit possible, il faut bien admettre que l'atome de radium lui-même subit une transformation. D'ailleurs cette hypothèse, malgré sa hardiesse, s'est vérifiée sous tous les rapports" (p.42).

O facto da conservação da energia sair mais uma vez vitoriosa permite o reforço da ideia da realidade da energia. Embora a origem etimológica da palavra átomo esteja em contradição com esta noção de átomos transformáveis, como Planck não deixa de assinalar, a ciência guardou esta designação para uma noção competentemente diferente da noção inicial dos átomos de Demócrito.

A continuidade de todas as acções dinâmicas e os princípios da Termodinâmica

Vejamos como Planck coloca esta questão:

"Ce postulat [le postulat de la continuité de toutes les actions dynamiques] était autrefois une des bases incontestables de toute théorie physique. Par une interprétation assez libre des idées d'Aristote, il a été résumé dans l'adage: «nature non facit saltua» [a natureza não dá saltos]. Or le progrès de la science moderne ont ouvert une brèche dangereuse dans ce bastion, jusqu'ici inviolé de l'ancienne physique. Cette fois-ci ce sont les principes de la thermodynamique qui sont entrés en conflit avec l'antique postulat, à la suite de nouvelles découvertes expérimentales. Selon toutes les apparences les jours de son règne sont déjà comptés. La nature semble en effet effectuer des bonds et cela de façon bien singulière" (p.44).

Para introduzir a discretização da energia em determinadas situações Planck vai fazer apelo à atomização da matéria, aspecto pacífico na época:

"Imaginons une vaste étendue d'eau à la surface de laquelle un vent violent soulève une forte houle. Si le vent vient à cesser les vagues n'en continueront pas moins à déferler d'une rive à l'autre pendant encore assez longtemps, mais le phénomène se modifiera d'une manière caractéristique avec le temps. L'énergie contenue dans les grandes ondes du début se répartira peu à peu entre des ondes de plus en plus courtes et de plus en plus faibles, surtout par suite du choc de l'eau contre les rives et contre d'autres corps solides. Cet émiettement de l'énergie avec le temps ira en s'accroissant jusqu'à ce que les ondes deviennent si petites qu'elles échappent à toute observation. En définitive, nous aurons la transformation d'un mouvement macroscopique en un mouvement moléculaire, d'un mouvement ordonné en un mouvement désordonné. Dans un mouvement ordonné, les molécules ont en effet la même direction et la même vitesse; dans un mouvement désordonné, au contraire, chaque molécule a une vitesse dont l'intensité et la direction sont indépendantes des vitesses et des autres molécules.

Mais le processus d'émiettement de l'énergie, tel que nous venons de le décrire, est nécessairement limité par la grandeur des atomes, car le mouvement d'un atome isolé considéré à part est toujours un mouvement ordonné, toutes les parties d'un atome se mouvant avec la même vitesse; c'est pourquoi plus les atomes seront grands et moins l'énergie totale du mouvement sera susceptible de se disperser. Jusqu'ici tout est parfaitement clair et s'accorde complètement tant avec la théorie classique qu'avec l'expérience" (p.45).

Com este exemplo Planck põe em evidência o carácter gradual do processo até um certo limite. Se este limite fosse visível teríamos a sensação de uma descontinuidade.

Passando para o caso das ondas luminosas, escreve:

"Considérons maintenant un phénomène tout à fait analogue ayant pour siège, non plus des ondes aqueuses, mais des ondes lumineuses ou celles de la chaleur rayonnante. Nous supposerons alors que les rayons provenant d'un corps fortement incandescent sont rassemblés à l'intérieur d'une enceinte entièrement close par un système de réflecteurs appropriés et qu'ils rebondissent sans arrêt sur les parois réfléchissantes de cette enceinte. Dans ce cas également, il y aura transformation des grandes longueurs d'onde en longueur d'onde plus courtes et du rayonnement ordonné en un rayonnement désordonné. Mais les rayons infra-rouges correspondent aux grandes ondes plus grossières et les ondes courtes aux radiations ultra-violettes du spectre; on doit, d'après la théorie classique, s'attendre à ce que le rayonnement tout entier se transforme finalement en radiation ultraviolette. En d'autres termes les rayons infrarouges et les rayons visibles devraient disparaître et se transformer principalement en rayons ultraviolets invisibles, manifestables par leur seule activité chimique.

Mais l'expérience montre qu'il n'y a pas trace d'un tel phénomène. La transformation atteint bientôt un état limite bien défini" (p.46).

Planck refere então que todas as tentativas feitas para conciliar este facto com a teoria clássica falharam. "Une révision s'imposait donc", diz ele, "mais, cette fois-ci encore, ce sont les principes fondamentaux de la thermodynamique qui sont demeurés inébranlables" (p.46).

É aqui que Planck introduz a nova entidade: os *quanta*. Para isso retoma o exemplo das ondas mecânicas aquosas:

"L'unique moyen, trouvé jusqu'ici, moyen qui permet d'espérer une solution complète de l'énigme, consiste à s'appuyer sur les deux postulats fondamentaux de la thermodynamique en les combinant avec une nouvelle hypothèse bien mystérieuse. Pour donner une idée suffisamment nette de cette hypothèse nous continuerons notre comparaison de tout à l'heure. Dans le cas des ondes aqueuses, l'émission de l'énergie a un terme du fait que les atomes possèdent jusqu'à un certain point une énergie indivisible (un atome représente un certain quantum de matière qui ne peut se mouvoir que comme un tout). Le cas de la chaleur rayonnante et de la lumière est analogue bien qu'il ne s'agisse plus que de mouvements entièrement immatériels. Il y aura donc, là aussi, des causes qui arrêteront l'émission de l'énergie et celui-ci ne pourra pas aller au-delà d'un certain quantum de valeur finie. Ces causes freineront d'autant plus

l'émission que les ondes seront plus courtes, c'est-à-dire les vibrations plus rapides" (p.46).

Vê-se pelas palavras utilizadas por Planck quanto estas entidades ainda são muito enigmáticas para ele. Contudo,

"l'hypothèse des quanta conduit à admettre qu'il y a dans la nature des phénomènes n'ayant pas lieu d'une manière continue, mais brusquement et, pour ainsi dire, explosivement. J'ai à peine besoin de dire que cette hypothèse s'est trouvée par la suite fortement corroborée quand furent découverts et étudiés en détail les phénomènes de radioactivité" (p.47).

Apesar da natureza um pouco obscura dos *quanta*, estes vêm mostrar-se muito frutíferos mesmo em áreas afastadas daquela onde a hipótese da sua existência emergiu. É este aspecto que leva Planck a reconhecer o seu valor e a impor a sua realidade:

"Bien que la nature intime de ces quanta dynamiques reste encore assez énigmatique, en raison des faits actuellement connus, il devient difficile de douter qu'ils existent en quelque manière; car ce qui peut être mesuré doit forcément exister" (p.48).

Recordemos que a hipótese dos quanta nasce como mero artifício matemático produzido por Planck e que era suposto desaparecer com uma passagem ao limite, aproximando-se, assim, da teoria continuísta clássica.

Considerações finais

Este texto não nos dá a dimensão da ruptura em causa. Com efeito, há uma suavidade no tratamento da questão que se prende com o estilo "clássico" de Planck. No livro "Les Conseils de Solvay", Marage e Wallenborn afirmam:

"Il faut remarquer encore qu'Einstein avait souligné dans son rapport [ao *Conseil Solvay*], comme il l'avait fait dès 1906, une certaine incohérence de toute la nouvelle approche quantique: l'énergie des oscillateurs est calculée dans le cadre de la mécanique classique, puis on s'en sert pour nier celle-ci!" (p.127).

Estes autores continuam com uma citação do relatório de Einstein ao primeiro Conselho de Solvay (1911):

"Nous sommes tous d'accord que la théorie des quanta, sous sa forme actuelle, peut être d'un emploi utile, mais ne constitue pas véritablement une théorie au sens ordinaire du mot, en tout cas une théorie qui puisse être, dès maintenant, développée de manière cohérente. d'autre part, il est bien établi aussi que la mécanique classique, traduite par les équations de Lagrange et de Hamilton, ne peut plus être considérée comme fournissant un schéma suffisant pour la représentation théorique de tous les phénomènes physiques. La question se pose de savoir quels sont les principes généraux de la physique sur lesquels nous pouvons compter pour la solution des questions qui nous occupent. En premier lieu, nous serons d'accord pour conserver le principe de l'énergie. Il doit être de même, selon moi, pour le principe de Boltzmann sur la définition de l'entropie par la probabilité: nous devons en admettre sans réserves la validité" (p.128).

Ou seja, utilizando as palavras de Planck: os dois princípios da termodinâmica saem vitoriosos nesta passagem para uma nova física.

Com este texto podemos já pressentir como a energia é um dos elementos charneira na passagem de uma linguagem clássica a uma linguagem quântica. Ou como dirá Theobald:

"there is indeed an analogy between classical physical theory based upon continuous energy transactions, and quantum theory where these are discontinuous. It is this analogy which allows us to use the term «energy» in both classical and quantum physics without confusion" (p.141).

Não entraremos na história da mecânica quântica, no entanto, interessa-nos mostrar como o valor e a "natureza" da energia se vai modificando e como as novas transformações do conhecimento físico vão permitir a Bergson (1919) afirmar:

"Auguste Comte déclarait à jamais inconnaissable la composition chimique des corps célestes. Quelques années, on inventait l'analyse spectrale, et nous savons aujourd'hui, mieux que si nous y étions allés, de quoi sont faites les étoiles" (L'énergie Spirituelle, p.28).

Alguns comentários sobre o texto "La genèse et l'Évolution de la Théorie des Quanta"

Este texto foi escrito vinte anos depois dos primeiros passos do *quantum* de acção, ou seja, em torno dos anos vinte.

Vale a pena transcrever as palavras com que Planck começa este artigo pois dão uma certa medida das suas perspectivas sobre o desenvolvimento do conhecimento científico, pondo em evidência a tortuosidade e consequente dificuldade dos caminhos percorridos:

"Reportons-nous à une époque déjà vieille de vinght ans: c'est le temps où la notion de quantum d'action commence à se dégager pour la première fois de l'accumulation des faits expérimentaux. Elle n'a pas encore parcouru le chemin long et sinueux qui doit l'amener à l'état adulte et, considérant toute cette évolution, je ne puis m'empêcher d'évoquer le mot de Goethe d'après lequel la course errante de l'homme dure aussi longtemps que son effort vers un but" (p.69).

Não estamos longe do que é para Peter Handke a produção literária. Diz Aliette Armiel (Magazine Littéraire, nº353, 1997, p.43-45): "Chaque livre [para Peter Handke] est une nouvelle errance, dont le commencement est annoncé comme «une mise en route», au cours de laquelle l'auteur prend le risque de se perdre par moments (...). «Il y a peut être une image qui convient à mon idéal, écrit Peter Handke: c'est le fleuve avec ses méandres et ses déviations»" (p.45). Estes "meandros e desvios" também estão presentes na produção científica com a diferença que nesta há "certaines faits de nature à lui prouver irréfutablement que le va-et-vient de ses démarches tâtonnantes lui a permis finalement de faire un pas de plus vers la vérité" (Planck, p.69, o sublinhado é nosso).

Como Planck refere, o seu problema era a resolução da repartição da energia no espectro normal de emissão térmica do corpo negro. É a partir deste problema que ele vai chegar a uma noção que revolucionará a física deste século. Mesmo se a história desta nova ideia aparece extremamente simplificada neste texto, este permite-nos colocar em evidência alguns aspectos que consideramos relevantes do ponto de vista formativo. Para um estudo mais aprofundado recomendamos a leitura do livro "Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912" de Thomas S. Kuhn (1978).

O Interesse pela Problemática da Radiação do Corpo Negro

Como temos visto, Planck dedicou muito do seu trabalho à clarificação, generalização e aplicação dos dois primeiros princípios da Termodinâmica. Estes constituíram sempre um polo de interesse para Planck.

Em 1889, após quatro anos passados na Universidade de Kiel, inicia a sua actividade na Universidade de Berlim, como sucessor de Kirchhoff. Como nos conta Kuhn (1978):

"The move to Berlin brought Planck back, of course, not only to the center of German physics but more obviously to what would shortly become the world center for theoretical and experimental research on black radiation. Wien, Lummer, Pringsheim, Rubens, and Kurlbaum all worked there, either at the University, the Technische Hochschule, or the Physikalisch-Technische Reichsanstalt in nearby Charlottenburg. In such a setting Planck's turn from physical chemistry to radiation theory is not surprising. By the mid-1890s a physicist in Berlin could scarcely be unaware that Kirchhoff, Boltzmann, and Wien had firmly established the applicability of thermodynamic argument to radiation. What Planck had begun to do by applying thermodynamics to chemistry, he could now reasonably expect to achieve for radiation theory as well" (p.18).

Mas, não é só o "contexto imaginativo" naquela comunidade científica, que explica o fervor com que Planck vai atacar os problemas associados à teoria da radiação do corpo negro.

Na sua "Autobiografia Científica" Planck conta como se viu envolvido na problemática da distribuição de energia nos espectros térmicos. Conta ele, que após as controvérsias com os energetistas já referidas, a sua atenção foi absorvida por uma problemática à qual viria a ficar ligado durante muitos anos:

"Mon attention fut bientôt absorbée par un problème tout autre, qui allait m'accaparer impérieusement et me pousser à des investigations singulièrement différentes pendant de longues années. Les mesures faites par O. Lummer et E. Pringheim à l'Institut impérial de Physique technique, en liaison avec l'étude du spectre thermique, attirèrent mon attention sur la loi de Kirchhoff, qui dit que dans une enceinte vide, limitée par des parois entièrement réfléchissantes, et contenant un nombre arbitraire quelconque de corps émetteurs et absorbants, il arrive un moment où un état est atteint dans lequel tous les corps ont la même température et où la radiation, -avec toutes ses propriétés y compris sa distribution spectrale d'énergie, - dépend non pas de la nature des corps, mais seulement et exclusivement de la température. Ainsi, ce qu'on a appelé la distribution normale du

spectre d'énergie représente quelque chose d'absolu, et comme j'avais toujours considéré la recherche de l'absolu comme le but suprême de toute activité scientifique, je me mis ardemment à l'ouvrage" (p.85, o sublinhado é nosso).

É, portanto, esta busca do absoluto que mobiliza Planck, para quem a grande finalidade para o desenvolvimento do conhecimento científico era esta procura de absolutos. Kuhn restringe o objectivo de Planck subjacente ao seu interesse nesta problemática: "Planck's larger objective in taking up the black-body problem was to reconcile the second law with mechanics" (p.18).

A problemática em questão

Planck apresenta, neste texto, o problema da seguinte forma:

"Depuis que Gustav Kirchhoff avait montré que la structure du rayonnement émis à l'intérieur d'une enceinte close, formée par un nombre quelconque de corps, dont la température est uniforme, est complètement indépendante de la nature de ces corps, on savait qu'il existe une fonction universelle reliant entre elles températures et longueurs d'ondes, et que pour la détermination de cette fonction, les propriétés spéciales d'aucune substance n'entrent pas en ligne de compte. Il était donc naturel de penser que la découverte de cette fonction remarquable serait susceptible de permettre d'élucider plus à fond la nature des relations existant entre l'énergie et la température, or c'est là le problème principal de la thermodynamique et par suite de toute la physique moléculaire" (p.70).

Daqui salta a importância que tal problema adquiriu para Planck. Para além de satisfazer a sua procura do absoluto este problema situava-se no âmbito da termodinâmica, domínio que Planck sempre privilegiou em termos do seu interesse. Mas Planck não começou a explorar a questão a partir de uma perspectiva termodinâmica. Só depois de várias tentativas infrutíferas é que, como ele nos conta, se coloca do ponto de vista termodinâmico, para o que contou, certamente, a sua sensibilidade a esta área:

"Il ne me restait donc plus, dans ces conditions, qu'à reprendre le problème en sens inverse, c'est-à-dire en me plaçant au point de vue de la thermodynamique, terrain sur lequel je me sentais plus à l'aise et comme chez moi" (p.72).

Mais tarde, Planck comenta na sua "Autobiografia Científica" a mudança na direcção das suas investigações:

"c'était une curieuse ironie du sort qu'une circonstance que j'avais trouvée désagréable en d'antérieures occurrences, - à savoir le défaut d'intérêt manifesté par mes collègues à la direction prise par mes recherches - se retournât désormais en ma faveur et profitât à mon travail en le facilitant certainement. En effet, une légion de physiciens remarquables attaquaient le problème de la distribution de l'énergie dans le spectre normal, aussi bien sous l'aspect expérimental que sous l'aspect théorique. Mais chacun d'entre eux n'avait orienté ses efforts que pour prouver la dépendance de l'intensité de la radiation par rapport à la température, tandis que je soupçonnais au contraire que le lien fondamental résidait dans la dépendance de l'entropie par rapport à l'énergie" (p.88).

Alguns aspectos relevantes no desenvolvimento das investigações de Planck sobre o corpo negro

Neste ponto não é uma mera descrição dos diferentes passos no desenvolvimento do pensamento de Planck que nos interessa mas sim o tentar colocar em evidência aspectos como a adesão a uma física do *continuum* para poder continuar a manter a sua visão da segunda lei da termodinâmica. É ao longo deste processo que entra em cena a tensão entre continuidade e descontinuidade, que culminará com a discretização da energia.

A convicção de Planck que a segunda lei poderia ser reconciliada com a mecânica é posta em relevo por Kuhn, como já referimos, na explicação do seu interesse pela teoria do corpo negro.

Planck escrevia em 1887:

"to point the direction in which research should move...One ought to use all available means to develop the final consequences of the mechanical viewpoint for all areas of physics, chemistry, and so on" (citado por Kuhn, p.22).

Este ponto de vista caracterizava-se por uma física do *continuum*:

"In conclusion I should like to call attention to a previously known fact. Consistently developed the second law of the mechanical theory of heat is incompatible with the

assumption of finite atoms. (...) A variety of present signs seems to me to indicate that atomic theory, despite its great success, will ultimately have to be abandoned in favor of the assumption of continuous matter" (citado por Kuhn, p.23).

Kuhn mostra como esta ideia foi permanecendo:

"Fifteen years later Planck outlined virtually the same position in an important letter (...). Not mechanics but its atomistic formulation conflicts with the second law; the resulting difficulties can presumably be eliminated by developing the mechanical world view for a continuum" (p.23).

Em 1897, dois anos após a publicação de um artigo polémico de Zermelo, seu assistente, que deu origem a uma certa polémica entre Zermelo e Boltzmann onde este argumentava fortemente que a "second law was not simply mechanical but also statistical" (Kuhn, p.27), Planck escrevia numa carta ao seu amigo Leo Graetz que o problema de reconciliar a segunda lei com a mecânica era "the most important with which theoretical physics is currently concerned" (Kuhn, p.27). Mais adiante na mesma carta dirá: "to maintain that change in nature always proceeds from [states of] lower to higher probability would be totally without foundation" (id., p.27).

Continuando com a mesma carta podemos ler a propósito do artigo de Zermelo:

"He believes that the second law of nature, is incompatible with any mechanical view of nature. The problem becomes essentially different, however, if one considers continuous matter instead of discrete mass-points like the molecules of gas theory. I believe and hope that a strict mechanical significance can be found for the second law along this path, but the problem is obviously extremely difficult and requires time" (id.).

Noutra passagem ele acrescenta:

"I see only one way to reach a definitive conclusion about the question. One must embrace one of the two positions [mechanics or statistics] in advance and see how far one can proceed towards the light or towards the absurd. That task will certainly be easier and more promising if one assumes the second law to be strictly valid (something which certainly cannot be shown from the kinetic theory of gases in its present form) rather than having recourse to hypotheses about the [improbable] initial state of the world simply to save gas theory... That is to renounce any deeper insight" (id., p.28).

Com estes pequenos excertos queremos colocar em evidência a longa dificuldade de Planck em aceitar uma interpretação estatística para a segunda lei. Diz Kuhn que quando "Planck wrote those sentences, the first reports of his black-body research had already begun to appear" (id., p.28).

As referências de Planck à mecânica do *continuum* emergem da necessidade de derrotar o demónio de Maxwell. Kuhn tenta captar o pensamento de Planck nesta fase:

"When Planck in 1882 announced his avowedly premature belief that atomic theory, despite its great success, would ultimately have to be abandoned in favor of the assumption of continuous matter, he is likely to have had something like the following in mind. In a continuum, which Planck may have conceived as studded with massy bits, motion in neighboring regions is strictly correlated. When the hole guarded by Maxwell's demon is open, regions on opposite sides of it are neighbors and move together. Energy may be transmitted through the hole nonetheless, but only from regions of more, to regions of less violent motion" (id., p.30).

E Kuhn continua dando uma origem para este imaginário:

"Planck, who was a fine musician and often used acoustical analogies in his work, may from the start have thought of the resonant response of a stretched string coupled by a spring or other continuous medium to a driving source" (p.30).

A investigação de Planck sobre o corpo negro começou com a convicção de que seria possível explicar a irreversibilidade por consideração apenas de efeitos conservativos. Mas com o desenvolvimento do trabalho Planck vê-se forçado a abandonar esta ideia. Como nos conta Kuhn:

"through most of the year 1897, Planck continued to believe that he could prove irreversibility directly, without the aid of any statistical or other special hypotheses. That proof had been his initial objective in taking up the black-body problem at all. But by the spring of 1898 he had recognized that that goal could not possibly be achieved, and the concepts deployed in his subsequent papers came more and more to resemble those developed by Boltzmann for gas theory" (p.36).

Mal sabia Planck que para além de ter de vir proclamar a discretização da matéria, que passará a ser uma bandeira de guerra entre ele e Mach, ele viria a ser o primeiro arquitecto da discretização da energia.

Capítulo 9

Duas visões sobre o conhecimento do mundo: a “controvérsia” entre Planck e Mach olhada pela Pedagogia¹

¹ O texto deste capítulo foi apresentado no Seminário sobre o Positivismo. Ver actas publicadas pelo Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência, 1998, 151-184.

9.1 Introdução

Em Dezembro de 1908 Planck faz uma conferência para os estudantes da Faculdade de Ciências da Universidade de Leiden, Holanda, com o título "A Unidade da Imagem Física do Mundo".

Esta conferência será mais tarde (1909) publicada na revista alemã *Physikalische Zeitschrift*. Neste artigo Planck fará alguns ataques directos à teoria do conhecimento de Mach, suscitando, assim, uma resposta deste, publicada na mesma revista em 1910 com o título "Os Princípios Orientadores da minha Teoria Científica do Conhecimento e a sua Recepção pelos meus Contemporâneos". A este artigo de Mach sucederá ainda uma resposta de Planck sob o título "Sobre a Teoria do Conhecimento Físico de Mach".

Ao abordarmos esta polémica pretendemos colocar em evidência algumas diferenças substanciais entre duas formas de pensar o conhecimento científico. Mach pode ser encarado como um construtivista (também tem sido designado por empirista, positivista), Planck como um realista-abstracto (um pouco à maneira dos pintores abstractos do início do século XX, para quem existe uma realidade invisível mas à qual se poderá aceder). Depois de termos acompanhado, no capítulo anterior, o pensamento de Planck, esta polémica vai permitir dar maior relevo a alguns aspectos já referidos.

Explorar a discussão gerada em torno de duas teorias sobre o conhecimento físico parece-nos muito pertinente para quem se interesse pela problemática da educação científica.

Com efeito, como diz Matthews (1994),

"well-founded curricular and pedagogical proposals in school science are based upon two foundations: views about the nature and scope of science and views about the nature and practice of education" (p.97).

Contudo, os *curricula* são, muitas vezes, omissos no que diz respeito a algumas das perspectivas veiculadas sobre a natureza do conhecimento científico (exceptuando as múltiplas referências ao estereotipado método científico) e a formação de professores apresenta um *deficit* nesta área. Acresce ainda que, como afirma Matthews,

"school textbooks frequently endorse one or other of the views, but with very little understanding of the historical or philosophical issues involved" (p.177).

Este texto pretende ser um pequeno contributo para uma discussão formativa em torno desta problemática. Abordar a natureza da ciência para quem não é filósofo, nem pratica a ciência (referimo-nos aos professores de ciências) deverá, do nosso ponto de vista, ser ancorado pela história da ciência, para que não se corra o risco de formulação de enunciados que fazem autoridade mas que são inertes do ponto de vista da sua significação.

O caso destes textos pode ser um bom exemplo para abordar alguns aspectos desta problemática tão complexa, permitindo-nos uma certa "concretização" através dos exemplos abordados, das histórias contadas, das experiências vividas.

As duas abordagens que pretendemos colocar em cena têm, como refere Toulmin (p.XV), uma mesma raiz kantiana. A herança kantiana é um dado adquirido tanto para Planck como para Mach mas este aspecto não implica desenvolvimentos próximos das duas abordagens, como veremos seguidamente. Para isso contribuíram, certamente, as diferenças de personalidade (um clássico, procurando a "identidade" do mundo, o absoluto - Planck; o outro "bebendo" o ar dos tempos, interessando-se por muitos e variados domínios, pela diversidade - Mach) e os diferentes percursos destes dois cientistas.

Como diz Toulmin:

"Neither Planck or Mach,"¹ at any rate, was in any mood to claim that the science of physics can arrive directly at any real knowledge of "external reality" or "things-in-themselves": this much caution Kant had taught them both. The question that divided them was, just *how much less* the physical sciences should settle for" (p.XV).

Nas palavras de Toulmin, Planck:

"argues that physics must always remain outwardlooking. Even though there is no question of arriving directly at a well-founded knowledge of external realities, physicists should nevertheless aim to build up for themselves, progressively, an intellectual world-picture which can - in course of time - become a more reliable guide to the character of those inevitably hidden realities" (p.XV).

E pelo contrário, Mach argumentava que:

¹ Todos os sublinhados introduzidos nas citações são da nossa inteira responsabilidade

"the proper course for physics was not to continue groping vainly after a meaningless and/or inaccessible population of «things-in-themselves». The methodology of physics would remain incomplete so long as physicists insisted on looking only outward: rather they should turn their attention back upon themselves and consider more candidly the relationship of their theoretical concepts to their own «sense impressions» or «sense observations»" (Toulmin, p.XV).

Ou seja, e como veremos através de exemplos concretos, para Planck as teorias desenvolvem-se progressivamente na tentativa de uma maior aproximação a uma realidade exterior, que permanecerá, no entanto, inacessível pela real impossibilidade de uma libertação total da esfera do sensível.

Para Mach o que está em jogo é um aumento de coerência entre concepção e percepção e este aumento de coerência dependerá, naturalmente, de um enriquecimento em experiências.

Embora a Física Contemporânea venha realizar , até certo ponto, algumas das ideias de Planck sobre o conhecimento físico do mundo (afastamento do mundo sensível) , a perspectiva de Mach, perdedora nalguns aspectos (papel central da percepção sensorial), encerra um valor pedagógico que tentaremos colocar em evidência.

No desenvolvimento deste artigo faremos algumas citações longas dos textos que estamos a discutir porque a clareza e a elegância da escrita destes autores são pedagogicamente relevantes e merecem ser postas em evidência.

9.2 Planck e a visão unitária do mundo físico

Na sua conferência de Leiden, Planck, propõe-se dar uma imagem unitária do mundo físico reconhecendo, no entanto, a existência de uma multiplicidade de percursos e de estilos individuais na investigação.

Para mostrar como o conhecimento físico tem de facto evoluído numa direcção definida pelo polo da unidade, Planck vai explorar a evolução de dois princípios que lhe são muito caros: o princípio da conservação da energia e o 2º princípio da termodinâmica. Na verdade, a vida científica de Planck desenrolou-se em torno destes dois princípios que lhe pareceram ser os instrumentos adequados na prossecução de uma "crença" que o habitou desde muito cedo: a

duas visões sobre o conhecimento do mundo: a controvérsia entre Planck e Mach

possibilidade de construção de uma imagem unitária para o mundo físico. Como afirma Barbara Cline (1987):

"The fact that the laws of thermodynamics, simple and few, accounted for so much meant to Planck that they were truths, fundamental and absolute, expressing what in all of nature was simple, unchanging, eternal. He wished to devote his life to these laws, to explore their consequences in various realms of science, to demonstrate, in problem after problem, their endless applicability. Such logical demonstrations could, he believed, turn up fresh knowledge, for in his opinion it was not necessary to experiment in order to learn something new" (p.40 e 41).

O seu interesse por estas temáticas e o seu fascínio pela física teórica começa, de acordo com Planck, com um acontecimento quando jovem estudante do liceu de Munique. Um dia, durante uma aula do seu professor de matemática, Hermann Muller, que, como diz Planck, era "maître dans l'art de faire voir et de faire comprendre à ses élèves la signification des lois physiques, au moyen d'exemples frappants" (*Autobiographie Scientifique*, p.68), aconteceu algo que permanecerá para sempre na sua memória². Faça-se apelo às próprias palavras de Planck que nos descrevem este momento intenso:

"C'est ainsi que mon esprit absorba avidement, telle une révélation, la première loi que je sus posséder une validité absolue, universelle, indépendamment de toute entremise humaine: le principe de la conservation de l'énergie. Je n'oublierai jamais l'histoire pittoresque que nous raconta Muller, en pleine forme, du maçon montant avec beaucoup de peine un pesant bloc de pierre sur le toit d'une maison. Le travail qu'il accomplit de la sorte ne sera pas perdu; il demeure en réserve, pendant de nombreuses années peut-être, entier et caché dans le bloc de pierre, jusqu'à ce qu'un jour ce bloc se détache peut-être et tombe sur la tête d'un passant" (id.).

Esta "revelação" parece guiar toda a carreira de Planck. Como nos conta B. Cline:

"The boy Planck was struck by this example of the law of energy conservation almost as hard as the «someone» who had been struck by the illustrative stone block. It dawned on him then that the world was not complicated beyond man's ability to understand it. Amid seemingly endless complexity and variation, the human mind could distinguish order, could recognize law" (p.34).

² Esta história já foi contada no capítulo 1, ver p.57.

Como diz o próprio Planck na sua *Autobiographie Scientifique*:

"Ma décision initiale de me consacrer à la science fut le résultat direct de la découverte qui n'a jamais cessé de me remplir d'enthousiasme depuis ma prime jeunesse: la compréhension du fait - qui est loin d'être évident - que les lois de la raison humaine coïncident avec les lois qui gouvernent les suites d'impressions que nous recevons du monde extérieur; et que par là même le raisonnement pur rend l'homme capable d'atteindre à une connaissance intime du mécanisme de ce monde. A ce point de vue, il est d'une souveraine importance que le monde extérieur soit quelque chose d'indépendant de l'homme, quelque chose d'absolu, et la recherche des lois qui s'appliquent à cet absolu m'apparut comme la plus sublime occupation scientifique que l'on puisse suivre" (p.67).

Esta pequena história contém elementos de grande valor formativo. Ela poderá ser utilizada tanto na compreensão da evolução do pensamento de Planck como para o confronto da ineficácia de algumas das preocupações pedagógicas de hoje. Referimo-nos essencialmente à atitude que alguns didactas teriam perante a história que o professor Muller conta. Diriam: "Esta história só vai reforçar a concepção alternativa de que a energia é uma substância. A forma como o professor diz que a pedra encerra dentro dela «inteiro e escondido» o trabalho realizado pelo pedreiro não poderá ter outro efeito". E, no entanto, o efeito desta história é enorme na vida de Planck. Ela é um exemplo evidente do valor pedagógico daquilo a que Whitehead chamou "fase do romance" no seu livro "The Aims of Education". Na verdade, é o "romance" que nos permite associar ideias ligando-as numa história, é aí que a imaginação joga um papel importante. É o que se passa com Planck, esta história permite-lhe, de repente, ver algo mais: o maravilhoso do acto intelectual - a sua capacidade de unificar factos dispersos.

Nesta conferência de Leiden, Planck propõe-se mostrar, olhando para trás, que

"the whole development of theoretical physics until now has been marked by a unification achieved by emancipating the system from its anthropomorphous elements, in particular from specific sense impressions" (p.6).

Como o vai fazer? Olhando para trás, como ele diz, e projectando para o futuro. Assim, o olhar para trás é concretizado fazendo apelo à evolução dos conceitos de energia e de

duas visões sobre o conhecimento do mundo: a controvérsia entre Planck e Mach entropia. Projecta para o futuro, discutindo a unificação que os respectivos princípios (conservação da energia e aumento da entropia) permitem na nossa visão do mundo físico. A forma de tratamento destes dois princípios é bastante desigual pois enquanto que a formulação da conservação da energia adquiriu já a forma abstracta aceite por todos, a interpretação do conceito de entropia ainda é bastante polémica.

A conservação da energia - libertação do seu carácter antropomórfico

Planck começa por nos sugerir que o acompanhemos numa viagem. Diz ele:

"I must ask you first to accompany me to the point from which the first step was taken toward the true realization of a unified system of physics, which had formerly only been postulated by philosophers: to the *principle of the conservation of energy*" (p.8).

Na verdade, como ele diz, o conceito de energia é dos poucos comuns a todos os ramos da Física.

O princípio da energia era, como afirma Planck, antropomórfico no seu carácter, antes da sua formulação por Mayer, Joule e Helmholtz (p.8). E porquê? Porque "it has its first roots in the recognition that there is no way of getting useful work from nothing"(id). E Planck continua:

"This recognition comes mainly from the experiences accumulated in the attempt to solve a technical problem: the invention of a *perpetuum mobile*. Nowadays, our expression of the energy principle makes no reference to human or technological aspects. We say that the total energy of a closed system of bodies is a magnitude which cannot be increased or diminished by any events taking place within the system. We no longer regard the accuracy of this statement as dependent on the precision of the methods now available to us for the experimental investigation of the problem of the *perpetuum mobile*. In this generalization - which strictly speaking is not probable, but which forcibly imposes its authority on us - lies the emancipation from anthropomorphous elements referred to earlier" (id.)

É o carácter absoluto contido na generalização desta lei que tanto fascínio exerceu sobre Planck e que ele tanto esperou ser uma característica de todos os princípios físicos. No entanto, como veremos, ele acabará por aceitar o carácter probabilístico da segunda lei da termodinâmica, única forma de prosseguir na senda da unificação.

Planck manifesta a sua crença no carácter real da energia, que se insere na sua visão geral sobre a natureza da "physical world-picture": o conhecimento científico traduz uma realidade natural.

É este aspecto que lhe vai servir para se confrontar com Mach. Diz Planck:

"Is the physical world-picture only a more or less arbitrary creation of our intellect, or are we driven to the opposite interpretation, namely, that it reflects real natural events which are quite independent of us? Or, to put this more concretely: Can we reasonably assert that the principle of energy conservation was valid in nature, before any man was able to think about it, or that heavenly bodies will still move according to the laws of gravity when our earth, with all its inhabitants, has disintegrated?

When, in view of all that I have said, I answer «Yes» to this question, I am well aware that this question goes against one movement in natural philosophy, led by Ernst Mach, which at present enjoys great popularity in scientific circles. According to this movement, there is no reality apart from our own impressions, and all natural science is in the last resort merely an economical adaptation of our thoughts to our impressions, to which we are driven by the struggle for existence" (p.23).

Assim, o que está em jogo nesta polémica e concretamente no que diz respeito ao princípio da energia não diz respeito à forma de o enunciar, como poderemos ver no texto de Mach - este não discorda do enunciado formulado por Planck - nem da forma como a história da sua evolução é contada, mas sim do valor que lhe é atribuído: verdade absoluta para Planck, porque traduz uma realidade; ficção para Mach, porque traduz uma criação do espírito na sua relação com a experiência.

Vimos, assim, como para Planck o poder unificador do conceito de energia resulta da generalização conseguida, do seu carácter abstracto. No entanto, noutros escritos anteriores, Planck defendeu o carácter experimental do princípio de conservação da energia.

O antropomorfismo da segunda lei da termodinâmica e o percurso necessário para a sua generalização

Planck vai dar um lugar importante à evolução da noção de entropia, ainda controversa na altura, na discussão sobre a sua "physical world-picture". Diz ele:

"While the energy principle confronts us as something complete and independent, quite separate from, and independent of, the chances of its evolution, this is by no means equally true of the principle which R. Clausius introduced into physics under the name of the second law of thermodynamics. The very fact that this law is only just hatched makes it of particular interest to our present discussion. In fact, the second law of thermodynamics, at least as generally understood, is still decidedly antropomorphous in character. For there are many eminent physicists who connect its validity with man's inability to penetrate the elementary constituents of the molecular world and to emulate Maxwell's demons, who were able to separate the faster molecules of a gas from the slower ones without the expenditure of any energy, simply by sliding a small bolt to and fro. But one need not be a prophet to predict with certainty that, as the second law has nothing essentially to do with human abilities, its definitive formulation will and must make no reference to the feasibility of any natural process of human skill. I hope that the following remarks may contribute something to this emancipation of the second law" (p.9).

Mas, pergunta-se Planck, qual é a relação da segunda lei com o princípio da conservação da energia? Contrariamente aos energetistas Planck vai autonomizar a segunda lei do princípio de conservação da energia dando-lhe um estatuto equivalente. Comparando a segunda lei com o princípio de conservação da energia, Planck diz:

"While the energy principle limits the course of natural processes by never permitting energy to be created or destroyed, but only transformed, the second law goes even further and does not permit all kinds of energy transformations, but only certain kinds in certain circumstances" (p.9).

Ou seja, a conservação da energia aparece como um limite na ocorrência de determinados fenómenos, a segunda lei introduz uma direccionalidade para os acontecimentos. Se não houvesse esta direccionalidade imposta pela segunda lei "one could use the heat of the earth's surface, which is available in unlimited quantities, to drive a motor" (p.9).

E Planck continua:

"From the empirically established impossibility of such a motor (also known as a *perpetuum mobile* of the second kind), it necessarily follows that there are occurrences in nature which cannot in any way be put into reverse. If, for instance, a friction process, by which work is changed into heat, could be *completely* reversed with the help of any apparatus (however complex), this apparatus would in fact be the motor just described: a

perpetuum mobile of the second kind. This follows, if we reflect, from what the apparatus would achieve: the transformation of heat into work without any other residual change" (p.9).

Assim, a raiz para o estabelecimento da segunda lei reside, de forma semelhante ao princípio de conservação da energia, na constatação empírica da impossibilidade de um *perpetuum mobile* de segunda espécie.

A segunda lei vem meter em cena os processos irreversíveis - "we can express the essence of the second law of thermodynamics by saying that there are irreversible processes in nature" (p.9) - e com isso uma nova possibilidade de unificação de todos os fenómenos físicos em torno das duas categorias: processos reversíveis e processos irreversíveis. Nesse sentido, Planck tenta mostrar como a segunda lei tem o grau de generalidade necessário à unificação dos fenómenos físicos, preconizada por ele. Para isso, é preciso tornar o conceito de irreversibilidade "independent of all human associations" (p.15).

Com a sua sensibilidade didáctica e sabendo que está num território ainda não pacificado, Planck vai fazer apelo às diferentes respostas às questões: "What are the general properties and characteristics of irreversible processes and what is the general quantitative measure of irreversibility?" (p.10).

Se considerarmos que a distinção entre processos reversíveis e irreversíveis começa com o estudo das máquinas térmicas não poderemos senão esperar uma primeira definição antropomórfica para a noção de irreversibilidade. Assim, Planck começa por fazer apelo a Sadi Carnot. Diz ele:

"He [Carnot] recognized that irreversible processes are less economical than reversible ones; that in an irreversible process, an opportunity of gaining mechanical work from heat is left unused. What could follow more obviously than the idea of defining the extent of the irreversibility of a process in terms of the amount of mechanical work lost in it?" (p.10).

Como refere Planck esta primeira "definição" é muito útil para certos casos especiais, como é o caso dos processos isotérmicos, mas é perfeitamente inútil para a generalidade dos casos.

Planck começa por introduzir uma alteração na linguagem, fundamental no processo de libertação de carga antropomórfica. Já não se trata de "trabalho útil" perdido mas sim de "preferência da natureza". A questão será, então, colocada desta forma:

"It is now a matter of finding a physical magnitude whose amount will serve as a universal measure of nature's preference for a given state. It must be a magnitude which can be

directly determined from the state of the system under observation, without knowing anything about his previous history, as is the case with energy, volume and other properties. (...)

R. Clausius actually discovered this magnitude, and named it «entropy». Any system of bodies in any state has a certain entropy, and this entropy expresses nature's preference for the given state; in all processes taking place within the system it can only increase never decrease" (p.12).

Mas a noção de entropia encerra ainda elementos antropomórficos, pois a forma de a calcular pressupõe o recurso a ciclos reversíveis, que estarão sempre associados a uma possibilidade/impossibilidade técnica. Como diz Planck:

"in the definitions of reversibility and entropy reference is made to the feasibility of certain changes in nature, and this really means that the classification of physical events is made dependent on the extend of man's experimental skill, which does not remain constant but is continually being improved. If the distinction between reversible and irreversible processes is really to be of lasting significance for all time, it must be considerably deepened and freed from all reference to human abilities" (p.14).

Este passo - "the emancipation of the concept of entropy from man's experimental arts and the consequent elevation of the second law to a genuine principle" - será dado, como diz Planck, por Boltzmann. Ele consistirá "in relating back the concept of entropy to the concept of probability" (p.14). E Planck continua:

"The calculation of the precise degree of probability for each condition of a system of bodies is made possible by the introduction of atomic theory and of the statistical approach" (p.17).

Este passo não foi fácil para Planck, se nos lembrarmos de trabalhos seus anteriores onde ele afirma não precisar da hipótese atômica, como vimos no capítulo anterior. Utilizando as palavras de Heilbron (1988) diríamos que Planck foi "atomiste à contre cœur". Ele próprio diz:

"It cannot be denied that this further step toward the unification of our world-picture is once again achieved at the price of many a sacrifice" (p.17).

Um dos problemas que Planck reconhece emergir com esta elevação da segunda lei a princípio é a introdução de "two different types of causal connections between physical states: on the one hand absolutely necessary, on the other merely probable connections" (p.17). Este aspecto será um dos pontos de discórdia entre Planck e Ostwald, e estará na origem de uma troca intensa de correspondência entre os dois.

Para chegar aqui Planck "sofreu" bastante, renunciando a aspectos que lhe eram muito caros, mas o seu sentido do rigor e a sua "crença" na unidade removeram montanhas, aproximando-o, como ele diria, da realidade. Assim:

"To calculate entropy we no longer need, as Clausius did, to perform a reversible process whose realizability always appears more or less in doubt; we are independent of human technical skills. In short, the anthropomorphous element is completely eliminated from this definition, and in this way the second law, like the first, is given a firm basis in reality" (p.18).

Esta aproximação à realidade pressupõe, portanto, a adesão à hipótese atómica, passo que não tinha sido dado por Mach.

9.3 Planck confronta-se com Mach

Com os dois exemplos abordados Planck tentou mostrar a pertinência de uma "visão" do conhecimento físico como espelho da realidade natural, opondo-se, assim, àqueles que defendem que "the physical world-picture [is] only a more or less arbitrary creation of our intellect". E aqui Planck, está a pensar em Mach, como é, depois, evidente.

Aspectos do pensamento de um físico.

Incompatibilidade com o "pensamento económico" de Mach.

O ataque directo a Mach é preparado fazendo apelo ao que é o modo de pensar de um físico. Diz Planck:

"When in the middle of the last century, Rudolf Clausius deduced, from the basic hypotheses of the kinetic theory of gases, that the speeds of gas molecules at normal

temperatures were measurable in hundreds of meters per second, it was objected that two gases are very slow to mix with one another, and that local temperature variations in gases are likewise very slow out. Clausius did not claim, in support of this hypothesis, that it was intended to represent only an approximative picture of reality, and that one must not expect too much of it; by calculating the mean free path, he showed that the picture he had outlined truly corresponded with reality, even in the two particulars mentioned. For he well knew that the discovery of a single definite contradiction would irrevocably cost the new theory of gases its place in the physical world-picture; and the same is still true today.

The possibility of making these great demands on the physical world-picture is the source of that compelling force by which this world-picture is at last commanding general recognition, independently of the goodwill of the individual researcher, independently of nationalities and of centuries - indeed, independently of the human race itself" (p.22).

É a pressuposta realidade do mundo físico que permite dizer que "no chemist hesitates to attribute to the sodium on the sun the same chemical properties as the sodium on the earth, although he cannot hope ever to fill his tube with a salt of solar sodium" (p.23). E quem não aceitar isto "cuts himself off from the physicist's mode of thinking" (p.23).

A dimensão "económica" na teoria do conhecimento desenvolvida por Mach esquece, de acordo com Planck, todo o esforço imaginativo dos grandes cientistas tanto na consideração de todos os detalhes possíveis dos efeitos das suas ideias como no desenvolvimento de novas ideias.

A realidade dos átomos

O segundo ataque explícito a Mach, que não é independente do primeiro, centra-se naquilo que para Planck é essencial no desenvolvimento de uma imagem unitária do mundo físico: a realidade da teoria atómica.

Diz Planck:

"I would like to oppose them [Mach e seus simpatizantes] by asserting - and I know that I am not alone in this - that atoms, little as we know of their detailed properties, are no more and no less real than the heavenly bodies, or the earthly objects which surround us. When I say: «A hydrogen atoms weighs $1.6 \times 10^{-24} \text{g}$ », this statement expresses a Kind of knowledge no less meaningful than the statement that the moon weighs $7 \times 10^{25} \text{g}$. Of course, I cannot place a hydrogen atom on the scales, nor can I even see it; but I cannot

place the moon on the scales either, and, as regards seeing it, invisible heavenly bodies too are known to exist whose volume can be more or less precisely measured. Indeed, the volume of Neptune was measured before any astronomer had ever turned his telescope toward it. No system of physical measurement exists from which all knowledge based on induction is eliminated; this is true even of direct weighing. A single glance into a precision laboratory shows us how many experiences and abstractions are comprised in one such measurement, simple as it may appear" (p.24).

O Cepticismo de Mach

Planck explica o sucesso das teses de Mach como reacção ao desencantamento que se seguiu, após a emergência do princípio de conservação da energia, ao falhanço de uma importante possibilidade de unificação - a visão mecânica da natureza.

Diz Planck:

"Mach's positivism was a philosophical manifestation of unavoidable disenchantment. It deserves full credit for having rediscovered, in the face of a menacing skepticism, the one legitimate point of departure for all natural science in the sense impressions. But when it degrades the whole physical world-picture along with the mechanical one, it overshoots the target" (p.25).

O que Planck não pode aceitar em Mach é a ausência de uma imagem constante do mundo físico, "independent of changing times and peoples", que em Planck toma forma através da ideia de unidade. Na verdade, ele aceitará mudar ideias, para ele muito importantes, desde que lhe permitam prosseguir numa constante actividade de unificação. E para isso,

"[the] goal is not the complete adaptation of our ideas to our impressions, but the complete liberation of the physical world-picture from the individuality of the creative mind" (p.26).

O conhecimento científico, de acordo com Planck, procura a verdade que é possível através da depuração das teorias físicas relativamente aos elementos antropomórficos, como vimos anteriormente.

O cepticismo que Planck critica a Mach deriva do facto deste não considerar o problema da verdade, facto que Planck considera como um efeito da desilusão na possibilidade da verdade.

Com efeito, a noção de verdade não faz parte das preocupações de Mach. Este insere-se na linha de uma física essencialmente descritiva e, assim, a procura de uma identidade para o universo físico não terá, aí, lugar. Mach não precisa de uma "visão" do mundo físico, no sentido de Planck.

Planck procura a simplicidade, reconhecendo a complexidade dos percursos para aí se chegar. Para Mach é a complexidade do mundo que move a multiplicação de caminhos simplificados ("Science has grown almost more by what it has learned to ignore than by what it has had to take into account", *History and Roots for the Principle of Conservation of Energy*, p.64).

Planck termina o seu artigo, depois de proclamar o respeito devido aos opositores científicos, afirmando a sua confiança no ditado que "for over 1900 years, has taught us to distinguish false prophets from true ones by this ultimate, infallible sign: «By their fruits ye shall know them»" (p.27).

9.4 Mach e os "princípios orientadores" para uma teoria do conhecimento.

Resposta a Planck

Mach teve uma grande influência na formação de físicos importantes, nomeadamente de Planck como podemos constatar nalgumas das suas obras e como ele próprio afirma no seu artigo "On Mach's Theory of Physical Knowledge". No entanto, a luta que Mach desenvolve contra a teoria atómica acaba por transformar alguns dos seus admiradores em críticos impiedosos. É o que vai acontecer com Planck e Einstein.

Quando lemos os escritos de Mach não sentimos a presença do desencantamento diagnosticado por Planck. Com efeito, os seus escritos são muito vivos e dinamizadores, povoados de acontecimentos correspondentes à sua própria experiência de vida.

A importância que Mach sempre deu ao papel da história na compreensão das ideias reflecte-se na forma como ele aborda as suas próprias ideias, expondo como tudo o que o fascina em cada momento se tece dando origem a novas formas de dizer. É o que acontece, como veremos, neste artigo de resposta aos ataques de Planck.

Matthews (1994) caracteriza a perspectiva de Mach sobre a natureza da ciência da seguinte forma:

"- Scientific theory is an intellectual construction for economizing thought and thereby conjoining experiences.

- Science is fallible; it does not provide absolute truths.
 - Science is a historically conditioned intellectual activity.
 - Scientific theory can only be understood if its historical development is understood"
- (p.98).

Alguns destes aspectos surgirão no contacto que estabeleceremos com os textos deste autor. O texto de Mach em discussão remete constantemente para outros textos seus, colocando toda a sua obra sob o "signo" da ligação. Também nós não poderemos deixar de o fazer, se queremos acompanhar o pensamento deste autor.

A aplicação da lei da causalidade

Antes de começarmos a explorar o artigo de resposta de Mach façamos, tal como fizémos para Planck, uma breve incursão à sua infância guiados por ele próprio.

O conhecimento da dependência entre fenómenos, traduzida por fórmulas matemáticas, é aquilo que parece essencial, para Mach, na evolução do conhecimento científico. Essa aptidão de conexão entre acontecimentos é algo que começa na nossa infância e que se desenvolve com a experiência. Conta-nos Mach:

"If we call to remembrance our early youth, we find that the conception of causality was there very clearly, but not the correct and fortunate application of it. In my own case, for example - I remember this exactly - there was a turning-point in my fifth year. Up to that time I represented to myself everything which I did not understand - a pianoforte, for instance - as simply a motley assemblage of the most wonderful things, to which I ascribed the sound of the notes. That the pressed key struck the cord with the hammer did not occur me. Then one day I saw a wind-mill: I saw how the cogs on the axle engaged with the cogs which drive the mill-stones, how one tooth pushed on the other; and from that time on, it became quite clear to me that all is not connected with all, but that, under circumstances, there is a choice" (Mach em *History and roots of the principle of the conservation of energy*. p.64-65).

A partir desta história Mach vai, através de uma série de exemplos, mostrar como a experiência é vital para o desenvolvimento do pensamento em geral e como o desenvolvimento do pensamento científico corresponde a uma crescente sofisticação, individual e social, na aplicação da lei da causalidade. O seu livro *History and Roots of the Principle of the Conservation of Energy* substancializa esta ideia. Nesta obra, Mach mostra como a lei da

duas visões sobre o conhecimento do mundo: a controvérsia entre Planck e Mach

causalidade associada à experiência vai dar origem ao que nós hoje designamos por princípio de conservação da energia. Como ele aí refere :

"I believe that I have shown that the theorem of excluded perpetual motion is merely a special form of the law of causality, which law results immediately from the supposition of the dependence of phenomena on one another" (p.73). Esta forma de encarar a lei da causalidade insere-se na sua noção de "economia intelectual". Não podemos aqui alongar-nos trazendo à discussão os exemplos interessantes que Mach trabalha nesta obra para mostrar como: "Though the principle of excluded perpetual motion is very fruitful in the hands of an experienced investigator, it is useless in a department of experience which has not been accurately explored" (71).²

O que importa em Mach é que "without positive experiences, the law of causality is empty and barren" (id., p.65).

É interessante comparar esta experiência vivida por Mach-criança, com a experiência vivida por Planck-jovem estudante de liceu. Os dois casos dão conta de uma espécie de momento-revelação, que condicionará fortemente a vida intelectual destes dois pensadores. Embora seja comum aos dois casos um lado visual muito forte, há, no entanto uma diferença substancial: em Mach o momento revelador resulta do seu contacto com uma experiência directa; em Planck o momento revelação acontece na sua relação com uma história contada pelo professor. E aqui temos já um indício de diferença entre estes dois pensadores. Mach empirista/construtivista; Planck racionalista/realista.

A importância das ligações

No texto de resposta de Mach a Planck podemos ler:

"I, too, regard sense impressions as the source of all experience, but I do not believe that they should be consigned to oblivion again as soon as physical concepts have been formed; I ascribe a higher value to them, as a link between physics and the other sciences. I have

² Este aspecto tem uma pertinência didáctica que mereceria ser confrontado com alguns resultados actuais de investigação sobre o ensino/aprendizagem da conservação da energia, nomeadamente com os textos de J. Solomon.

attempted elsewhere to show how a unified physics can gradually be built up without artificial hypotheses - although not in a day" (p.37).

Esta possibilidade de unidade do conhecimento é posta em evidência nas suas "Popular Scientific Lectures" onde ele passa da física à pintura, à filosofia, à psicologia. Evidentemente que a noção de unidade aqui exposta é muito diferente da unidade procurada por Planck. Este dirigia-se para uma unidade unificadora, redutora do tudo ao mesmo.

Mach não dá um lugar privilegiado à Física no desenvolvimento da imagem física do mundo, como ele diz "physics is not the whole universe" (p.41) .

Nos seus "Principles of Theory of Heat", Mach explicita a sua aspiração a uma imagem do mundo tão completa quanto possível "connected, unitary, calm and not materially disturbed by new occurrences: in short a world-picture of the greatest possible stability" (p.337). Mas esta unidade que se conquista progressivamente tem sempre, para este autor, um carácter transitório, ou como ele próprio diz, confrontando-se com Planck, a unificação do sistema físico "is only a provisional, hypothetico-fictitious one"(p.35). Como ele afirma:

"thanks to a changing sucession of scientists, the human, socially maintained world-picture will naturally become a progressively purer expression of the facts, ever more independent of individuality" (id.).

Contrariamente para Planck, como vimos, a unificação põe-nos em contacto com o absoluto, o verdadeiro.

Para Mach,

"the object of natural science is the connexion of phenomena; but the theories are like dry leaves which fall away when they have long ceased to be the lungs of the tree of science" (History and Roots of the Principle of the Conservation of Energy, p.74).

Planck não pode acreditar no trabalho de um físico que não seja movido por uma "visão" do mundo e ataca Mach por este não se orientar por uma imagem do mundo físico - dado que em Mach não há uma "realidade" fixa, uma permanência. É interessante "ver" as imagens que Mach utiliza quando fala da ciência do futuro: "so in the science of future all the rills of knowledge will gather more and more into a common and undivided stream" (Mach citado por Holton, p.32). A tónica é posta no movimento mas isto não quer dizer que não haja algo de permanente na abordagem de Mach:

"*the permanence of the linking of reactions described by physical laws is the highest substantiability which science has so far discovered, more permanent than anything hitherto known as «substance»*" (p.43).

As leis físicas podem mudar de conteúdo mas não de natureza: elas exprimirão sempre conexões entre fenómenos.

Na construção de uma teoria do conhecimento Mach integra ideias que tinham para ele um grande interesse e que se revelavam frutíferas na sua aplicação num campo de conhecimento diferente, como é o caso de evolução e economia.

A dimensão económica aparece como resultado do seu encontro com um economista que via o elemento económico em tudo. Diz Mach:

"Through my dealings (in 1864) with the political economist E. Hermann who, as befitted his calling, sought out the economic element in every type of activity, I acquired the habit of designating the intellectual activity of the scientist as «economic» or «economical». This can be explained by the simplest of examples. Every abstract, comprehensive, factual statement, every replacement of a table of figures by a formula or set of instructions (i.e., the law governing these figures), every explanation of a new fact by another better known one, can be viewed as an economical achievement. The further and more deeply one analyzes scientific methods and their systematic, organizing, simplifying logico-mathematical structures, the more clearly one recognizes scientific activity as economical" (p.30).

Estas ideias juntamente com o que Mach absorveu das ideias de Darwin publicadas em 1859 levaram a uma "biologico-economical presentation of the theory of knowledge. Expressed very briefly, the task of scientific knowledge appears as: *the adaptation of ideas to facts and the adaptation of ideas to one another*" (p.31).

Todo este processo mostra como Mach estava sensível ao que se passava à sua volta.

Aos ataques de Planck, Mach responde que o seu "pensamento económico" não está muito longe da sua pretendida unificação. Aspecto que Planck rebaterá na sua resposta a Mach, não aceitando a generalização que Mach aponta para o seu termo "economia", ao libertá-lo de um ponto de vista humano-prático.

Mach tenta provar que a sua teoria do conhecimento não é incompatível com os dados da ciência. Mach atribui os ataques de Planck ao seu desconhecimento sobre o significado de "intellectual economy". Diz Mach:

"But was he not guilty of (shall we say?) temerity in attacking, at the first disagreeable or uncongenial impression, something he was quite ignorant about, and which was alien to the direction and manner of his thinking? I consider it no misfortune that ideas based on facts develop differently in different minds - on the contrary!" (p.43).

A validade da Física

Quanto à preocupação de Planck no desenvolvimento de uma Física válida para todos os tempos e lugares, Mach responde:

"This preoccupation with a physics valid for all times and peoples (including Martians), at a time when many everyday physical questions still puzzle us, seems to me highly premature, and indeed almost ludicrous. But this question, too, I answered years ago. All living creatures who may study physics in the future will be obliged, like us, to provide for their own survival and therefore to pay attention to whatever in nature is economically important and permanent for them; and this would give them a point of contact with our physics, if by some miracle it were available to them. Indeed, I have no doubt that if, somewhere in the universe, a creature organized like ourselves could make observations before the beginning or after the end of the earth, it would be perceive a universe working similarly to that which we ourselves describe" (p.36).

Os dois autores encontram na energia uma temática a que eles recorrem ao longo das suas obras para ilustração das suas ideias sobre o desenvolvimento do conhecimento científico. Tanto a história como a natureza do conceito contêm ingredientes que podem servir a ambos. Assim, por exemplo, o carácter de "descoberta simultânea" associado à história da energia satisfará Planck porque se o conceito traduz uma realidade, será natural que diferentes personalidades cheguem a essa mesma realidade. E satisfará Mach porque lhe permite mostrar que:

"when the time was ripe for them [as ideias], grew up simultaneously in different brains quite independent of one another. We ought to regard it as a piece of good fortune that the

development of science is not limited to one nation or to one brain; and we should reflect on the different ways in which these ideas were fostered by different investigators with different personal characteristics, the gain which has accrued to science from this difference, and the gain which accrues from it to theory of knowledge" (*Principles of the Theory of Heat*, p.227).

A hipótese atômica

O grande ponto de discórdia entre Planck e Mach centra-se em torno da crença na realidade dos átomos. Diz Mach:

"After exhorting the reader, with Christian charity, to respect his opponent, P. brands me, in the well-known biblical words, as a «false prophet». It appears that physicists are on the way to founding a church; they are already using a church's traditional weapons. To this I answer simply: «If belief in the reality of atoms is so important to you, I cut myself off from the physicist's mode of thinking, I do not wish to be a true physicist, I renounce all scientific respect - in short: I decline with thanks the communion of the faithful. I prefer freedom of thought»" (p.38).

Esta liberdade de pensamento refere-se à possibilidade de desenvolvimento de um pensamento completamente exterior à metafísica: o pensamento científico. Como nos diz Mach: "I believed that I arrived at a natural interpretation of the world, free of speculative-metaphysical additions" (p.38). Foi esta possibilidade que tanto seduziu muitos cientistas, como anteriormente referimos. Em "On Mach's Theory of Physical Knowledge", Planck testemunha:

"During my Kiel period (1885-89) I was one of the staunchest supporters of Mach's philosophy, which, I freely acknowledge, had a strong, influence on my thinking as a physicist. But I later abandoned it, chiefly because I came to realize that Mach's natural philosophy was not capable of fulfilling the brilliant promise which attracted most of its supporters: viz., the elimination of all metaphysical elements of all metaphysical from the physical theory of knowledge" (p.46).

A metafísica tomava forma, para Mach, na utilização da hipótese atômica.

Um conceito "is no more than the ability, designated and stimulated by the word, to recall the single experiences from which the concept was gradually formed. A higher concept can

duas visões sobre o conhecimento do mundo: a controvérsia entre Planck e Mach
contain other concepts (as characteristics); but such a concept, if it is to have any scientific meaning, will also be based on sensory experiences of the elements ABCDE...." (p.43), afirma Mach.

Desta forma é muito diferente, do ponto de vista de Mach, falar da massa da lua ou da massa de um átomo. O conceito de átomo não transporta consigo a evocação de uma qualquer experiência sensorial, diria Mach, "It would be most strange if the very refinement of experience were to carry it aloft, high above the world, leaving nothing of the world itself but inaccessible phantoms" (p.39).

Deste modo, Mach não poderá aceitar a generalização da segunda lei, tal como é feita por Planck.

Este aspecto fez de Mach um perdedor no terreno científico. Talvez por isso a sua obra seja hoje pouco discutida e quando o é transporta consigo um rótulo - positivista - que torna este autor indesejável no quadro de uma didáctica contemporânea. No entanto, os seus textos, que fazem parte da nossa herança intelectual, contêm uma grande sabedoria pedagógica que é preciso evidenciar, nomeadamente no que diz respeito à importância da História da Ciência no ensino. Diz ele:

"There are two ways of reconciling oneself with actuality: either one grows accustomed to the puzzles and they trouble one no more, or one learns to understand them by the help of history and to consider them calmly from that point of view.

Quite analogous difficulties lie in wait for us when we go to school and take up more advanced studies, when propositions which have often cost several thousand years' labour of thought are represented to us as self-evident. Here too there is only one way to enlightenment: historical studies" (History and Roots of the Principle of the Conservation of Energy, p. 16).

9.5 Algumas Considerações Finais

Não pretendemos, com este texto, concluir com uma escolha entre estas duas abordagens. Se é certo que a discussão em torno da pertinência da teoria atómica está ultrapassada - os átomos aí estão e até podemos contá-los, diria Perrin -, a complexidade e a importância do pensamento destes dois cientistas-filósofos não é compatível com qualquer conclusão simplificadora.

Com os textos de Planck aprendemos, por exemplo, a apreciar o valor de uma generalização e o seu carácter abstracto. Com Mach aprendemos o prazer das "ligações" que vamos fabricando a partir do nosso contacto sensível com o mundo. Guiados por ambos podemos apreciar "the labour of thought" no desenvolvimento das teorias físicas.

De Planck realçou Einstein "«la tournure artistique du style» et «les pulsions artistiques» qui étaient à l'origine de sa faculté de créer" (Heilbron, 1988, p.60).

De Mach disse Einstein: "he peered into the world with the inquisitive eyes of a carefree child taking delight in the understanding of relationships" (Hiebert, citado por Matthews, p.97).

O contacto que os textos destes autores nos proporcionam com aspectos como: a lógica, a "puissance imaginative", a experiência e a experimentação, tem um valor formativo inestimável.

Com a polémica discutida queremos contribuir com um facto "en que se dan elementos contradictorios [e que] al entrar en el volumen de nuestro pensamiento lo aumenta, lo dilata, lo expansiona" (Ortega y Gasset, p.57).

Capítulo 10

**A História como percurso de
compreensão conceptual: Mach e o
conceito de energia**

10.1 Introdução

Fizemos já algumas incursões ao pensamento de Mach, nomeadamente como pensamento de contraste a Helmholtz e na controvérsia com Planck sobre a natureza do conhecimento científico. Colocámos em evidência o seu recurso à história como único meio para a compreensão dos conceitos. Pretendemos agora trabalhar um pouco mais de perto o livro *History and Roots of the Principle of the Conservation of Energy*, publicado pela Open Court Publishing, 1911 (a 1ª edição deste livro em alemão data de 1872, a 2ª edição - edição que é traduzida por P. E. Jourdain e publicada em 1911 - data de 1909) e o artigo "On the Conservation of Energy", publicado nas *Popular Scientific Lectures* pela Open Court em 1986 - a primeira edição é de 1894.

O princípio de conservação da energia, que Mach começa por designar, na primeira das obras acima referidas, por conservação do trabalho - veja-se título original da obra *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*¹ - vai servir a Mach para exhibir aspectos importantes da sua teoria do conhecimento. Nomeadamente, mostrando que "the new view was long prepared for and ready for enunciation [and] only that a few favored minds had perceived it much earlier than the rest" (*On the Conservation of energy*, p.138) e respondendo às questões: "how did we acquire this idea? What are the sources from which we have drawn it?"(id., p.139).

Mach vai, então, tentar mostrar que para entender o princípio de conservação da energia é necessário: conhecer a história que levou à impossibilidade do movimento perpétuo; explorar a dimensão experimental no desenvolvimento deste princípio; considerar os aspectos lógicos e formais. É a cooperação de todos estes factores, diz Mach, que vai dar origem a um novo enunciado cujo desenvolvimento e extensa aplicação o torna "a fully established truth" (id., p.138).

Tentaremos colocar em evidência o contributo de cada um destes factores no desenvolvimento do princípio de conservação da energia, conservando a ideia fundamental da teoria do conhecimento de Mach: o conhecimento científico é o produto do refinamento na aplicação da lei da causalidade (correspondendo esta ao pressuposto de que há conexões entre fenómenos,

¹ Mach preferia o termo trabalho ao termo energia por ser ao trabalho que está associada a possibilidade de medida.

como vimos na polémica entre Planck e Mach) e que o teorema da exclusão do movimento perpétuo "is merely a special form of the law of causality" (H.R.P.C.E., p.73).

Por razões pedagógicas tentaremos dar ênfase à ideia explicitada por Mach de que:

"Though the principle of excluded perpetual motion is very fruitful in the hands of an experienced investigator, it is useless in a department of experience which has not been accurately explored" (id., p.72).

Ou seja, a exclusão do movimento perpétuo só tem interesse se estivermos mergulhados no "mundo"

10.2 A importância do teorema da exclusão do movimento perpétuo

"Le principe de conservation de l'énergie, de toute évidence, ne s'applique pas aux objets mythiques. Le grand Victor Hugo l'exprimait excellemment dans *L'Art et la Science*: "

Ortoli e Witkowski em *La Baignoire d'Archimède*, 1996, p.41.

Mach vai dar um lugar importante ao teorema da exclusão do movimento perpétuo no desenvolvimento do princípio de conservação da energia, mostrando, contudo, que a sua raiz não é mecânica, pelo contrário, de acordo com Mach o desenvolvimento da mecânica pressupõe já uma ideia de exclusão do movimento perpétuo. Então, de onde vem esta ideia, pergunta-se ele?

Quando Mach escreve sobre Helmholtz e sobre a sua forma de apresentar o desenvolvimento do que viria depois a chamar-se princípio da conservação da energia faz ressaltar os dois intervenientes possíveis, para Helmholtz, nesta questão:

"Hemholtz carried the principle through in two ways. We can, said he, set out from the fundamental theorem that work cannot be created out of nothing, and thereby bring physical phenomena into connexion, or we can consider physical processes as molecular processes which are produced by central forces alone - thus by forces which have a potential" (H.R.P.C.E., p.38, o sublinhado é nosso).

A parte sublinhada corresponde a uma das formas usuais para o teorema da conservação do trabalho. Com efeito é dito no início desta obra:

"Usually the theorem of the conservation of work is expressed in two forms:

1. $\frac{1}{2}\sum mv^2 - \frac{1}{2}\sum mv_0^2 = \int \sum (Xdx + Ydy + Zdz)$; or

2. It is impossible to create work out of nothing, or to construct a perpetuum mobile" (id., p.19).

Assim, afirmar a impossibilidade de obter trabalho do nada corresponde, como vimos, a pressupor a conexão entre fenómenos, ou seja, de acordo com Mach, a aplicar a lei da causalidade.

Depois de apresentar alguns exemplos, que discutiremos a seguir, Mach conclui, relativamente à relação entre a ideia de exclusão do movimento perpétuo e a mecânica:

"In the first place it is clear that the principle of excluded perpetual motion cannot be founded on mechanics, since its validity was felt long before the edifice of mechanics was raised. The principle must have another foundation. This view will now be supported if, on closer consideration of the mechanical conception of physics, we find that the latter suffers from being a doubtful anticipation and from one-sidedness, neither of which accusations can be laid against our principle. We will, then, first of all, examine the mechanical view of nature, in order to prove that the said principle is independent of it" (id., p.41, o sublinhado é nosso).

Qual é, então, a relação entre o princípio de conservação da energia e o princípio (Mach utiliza indiferentemente o termo teorema e princípio) de exclusão do movimento perpétuo? A este respeito afirma:

"The law of energy in its modern form is not identical with the principle of the excluded perpetual motion, but it is very closely related to it. The latter principle, however, is by no means new, for in the province of mechanics it has controlled for centuries the thoughts and investigations of the greatest thinkers. Let us convince ourselves of this by the study of a few historical examples" (P.S.L., p.140, o sublinhado é nosso).

Tentaremos explorar o verdadeiro significado do texto que sublinhámos e chamar a atenção para a segunda parte do texto em que o autor pretende separar a mecânica do

desenvolvimento de uma ideia de exclusão de movimento perpétuo. Para isso Mach vai colocar em cena alguns exemplos históricos. Esta é a sua estratégia pedagógica privilegiada.

Exemplos

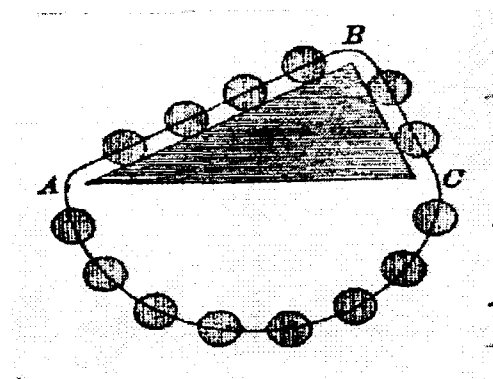


Figura 10.1 Imagem retirada da obra *Popular Scientific Lectures*, de E. Mach, p. 141

Abordaremos, de seguida, alguns dos exemplos apresentados por Mach, para mostrar como algumas das leis da mecânica pressupõem uma ideia de impossibilidade de movimento perpétuo, sem que os autores sintam necessidade de se justificar.

Mach começa por fazer apelo às leis do equilíbrio estabelecidas por Stevinus:

"Stevinus, now, easily derives from this principle [refere-se à impossibilidade do movimento perpétuo] the laws of equilibrium on the inclined plane and numerous other fruitful consequences" (id., p.141).

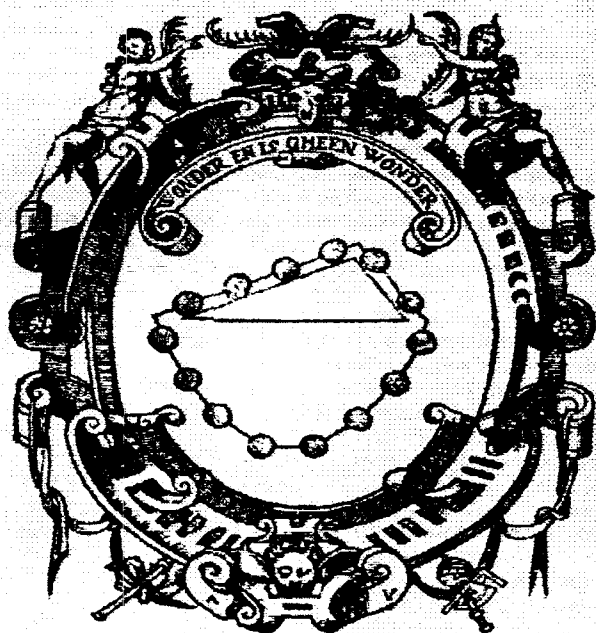


Figura 10.2 *Frontispice in S. Stevin*, de Weeghdaet beschreven duer Simon Stevin van Brugghe, 1586, bib.nacioal de Paris (figura retirada do livro *Éléments d'Histoire des Sciences*, M. Serres, p.244)

Vejamos qual o exemplo em questão, ver figuras 10.1 e 10.2¹:

¹ "Wonder en is gheen" significa "maravilhoso, e não é uma maravilha".

"S. Stevinus, in his famous work *Hypomnemata mathematica*, Tom. IV, *De statica*, (Leyden, 1605, p.34), treats of the equilibrium of bodies on inclined planes.

Over a triangular prism ABC, one side of which is horizontal, an endless cord or chain is slung, to which at equal distances apart fourteen balls of equal weight are attached (...). Since we can imagine the lower symmetrical part of the cord ABC taken away, Stevinus concludes that the four balls on AB hold in equilibrium were for a moment disturbed, it could never subsist: the cord would keep moving round forever in the same direction, - we should have a perpetual motion" (id., p.140, 141).

Teríamos, portanto, a "*continuous and unending motion, which is false*" (Stevinus, citado por Mach, p.141), ver figura 10.1.

Fazendo apelo a vários outros exemplos da importante obra de Stevinus, Mach conclui: "It is a fact, Stevinus deduces apparently much simpler truths from the principle of an impossible perpetual motion" (id., p.142).

Relativamente a Galileu, Mach escreve:

"In the process of thought which conducted Galileo to his discoveries at the end of the sixteenth century, the following principle plays an important part, that a body in virtue of the velocity acquired in its descent can rise exactly as high as it fell. This principle, which appears frequently and with much clearness in Galileo's thought, is simply another form of the principle of excluded perpetual motion" (id., p.143).

E relativamente a Huygens, "upon whose shoulders the mantle of Galileo fell" (id., p.147), Mach afirma:

"[He] forms a sharper conception of the law of inertia and generalises the principle respecting the heights of ascent which was so fruitful in Galileo's hands. He employs the latter principle in the solution of the problem of the centre of oscillation and is perfectly clear in the statement that the principle respecting the heights of ascent is identical with the principle of the excluded perpetual motion" (id., p.147).

E Mach faz apelo ao próprio texto de Huygens, na parte quatro da obra *Horologium de centro oscillations*:

"If any number of weights be set in motion by the force of gravity, the common centre of gravity of the weights as a whole cannot possibly rise higher than the place which it occupied when the motion began.

That this hypothesis of ours may arouse no scruples, we will state that it simply imports, what no one has ever denied, that heavy bodies do not move *upwards*. - And truly if the devisers of the new machines who make such futile attempts to construct a perpetual motion would acquaint themselves with this principle, they could easily be brought to see their errors and to understand that the thing is utterly impossible by mechanical means" (id., p.148).

Mach acentua as últimas palavras desta citação de Huygens dizendo: "one could might be led to believe from them that Huygens held a non-mechanical perpetual motion for possible" (id.). Com efeito, a crença numa qualquer possibilidade de movimento perpétuo tem perdurado ao longo dos séculos. Como vimos, Mayer, a meados do século dezanove, acreditava que o movimento perpétuo era possível no mundo das estrelas. Mach não explora esta tensão que habitou muitos homens da ciência, como é o caso, por ele referido, de Huygens.

Continuemos, então, a incursão que Mach faz a Huygens:

"«If a pendulum, composed of several weights, set in motion from rest, complete any part of its full oscillation, and from that point onwards, the individual weights, with their common connexions dissolved, change their acquired velocities upwards and ascend as far as they can, the common centre of gravity of all will be carried up to the same altitude with that which it occupied before the beginning of the oscillation"».

On this last principle now, which is a generalisation, applied to a system of masses, of one of Galileo's ideas respecting a single mass and which from Huygens's explanation we recognise as the principle of excluded perpetual motion, Huygens grounds his theory of the centre of oscillation" (id., p.149).

Assim, "the Huygenian principle respecting the heights of ascent became the foundation of the «law of the conservation of living force», as that was enunciated by John and Daniel Bernoulli and employed with such signal success by the latter in his Hydrodynamics" (p.150).

E Mach continua com outros exemplos para mostrar como a forma utilizada por Torricelli, do princípio das velocidades virtuais "is identical with Huygens's principle of the impossibility of a perpetual motion" (p.151):

"Torricelli carries the principle back to the properties of the centre of gravity. The condition controlling equilibrium in a simple machine, in which power and load are

represented by weights, is that the common centre of gravity of the weights shall not sink. Conversely, if centre of gravity cannot sink equilibrium obtains, because heavy bodies of themselves do not move upwards" (id., p.151).

Embora Lagrange, como afirma Mach, tenha sentido um grande desconforto com esta utilização da ideia de impossibilidade de movimento perpétuo, e tenha tentado cortar com isso, ele não conseguirá escapar totalmente a uma utilização implícita desta ideia. Na verdade, Mach mostra como Lagrange no que diz respeito ao princípio das velocidades virtuais "tried in every way to supply a proof free from extraneous elements and fully satisfactory, but without complete success. Nor were his successors more fortunate" (id., p.152).

Com a apresentação destes exemplos, Mach conclui que:

"the whole of mechanics, thus, is based upon an idea, which, though unequivocal, is yet unwonted and not coequal with the other principles and axioms of mechanics. Every student of mechanics, at some stage of his progress, feels the uncomfortableness of this state of affairs; everyone wishes it removed; but seldom is the difficulty stated in words" (id., p.152).

O problema da prova do princípio das velocidades virtuais foi o tema central da crítica de Poincaré à *Mecânica Analítica* de Lagrange. Como afirma Mach, "according to Poincaré, therefore, a proof of the principle of virtual movements is tantamount to a total rehabilitation of mechanics" (id., p.153).

Com todos estes casos Mach colocou em evidência que:

"the principle of excluded perpetual motion is thus no new discovery; it has been the guiding idea, for three hundred years, of all the great inquirers. But the principle cannot properly be *based* upon mechanical perceptions. For long before the development of mechanics the conviction of its truth existed and even contributed to that development" (p.155, o sublinhado é nosso).

Mas, então, de onde vem tal convicção? a resposta clara a esta questão é dada no último capítulo da obra *History and Roots of the Principle of the Conservation of Energy*. O próprio título deste capítulo é já uma resposta a esta questão: "The logical root of the theorem of excluded perpetual motion". Este capítulo assim:

"If the principle of excluded perpetual motion is not based upon the mechanical view - a proposition which must be granted, since the principle was recognized before the development of this view - if the mechanical view is so fluctuating and precarious that it can give no sure foundation for this theorem, and, indeed, if it is likely that our principle is not founded on positive insight, because on it is founded the most important positive knowledge; on what does the principle rest, and whence comes its power of conviction, with which it has always ruled the greatest investigators?" (p.60).

Para responder a esta questão Mach propõe uma incursão "to the foundations of the logic of natural science" (p.59). Nesse sentido escreve:

"If we attentively observe natural phenomena, we notice that, with the variation of some of them, also variations of others occur, and in this way we have grown used to considering natural phenomena as dependent upon one another. This dependence is called the law of causality" (p.59, o sublinhado é nosso).

Embora a lei da causalidade possa tomar várias formas, como afirma Mach, este considera que ela "is sufficiently characterized by saying that it is the presupposition of the mutua dependence of phenomena" (p.61, o sublinhado é nosso). E, mais adiante, acrescenta:

"The law of causality is identical with the supposition that between the natural phenomena a,b,c,d,...x, certain equations subsist. The law of causality says nothing about the number or form of these equations; it is the problem of positive natural investigation to determine this" (p.61, o sublinhado é nosso).

Desta forma, o desenvolvimento do conhecimento científico é o resultado da progressão na aplicação da lei da causalidade. Neste texto podemos ler:

"In general, a lower stage of knowledge may perhaps be distinguished from a higher one not so much by the difference of the conception of causality as by the manner of application of this conception.

He who has no experience will, because of the complication of phenomena surrounding him, easily suppose a connexion between things which have no perceptible influence on one another. Thus, for example, an alchemist or wizard may easily think that, if he cooks quicksilver with a Jew's beard and a Turk's nose at midnight at a place where roads cross, while nobody coughs within a radius of a mile, he will get gold from it. The man of science

today knows from experience that such circumstances do not alter the chemical nature of things, and accordingly he has a smoother path to traverse" (p.64).

A aplicação da lei da causalidade só é frutífera com a experiência: "I only wanted to show that, without positive experiences, the law of causality is empty and barren" (p.65).

Todas estas considerações nos parecem de grande valor pedagógico. Será interessante ver como contrastam com alguns dados de investigação sobre a aprendizagem da conservação da energia (ver capítulo 2).

Considerando a lei inversa da lei da causalidade - lei da razão suficiente (toda a causa tem um efeito), Mach vai mostrar com alguns exemplos que ela "is not essentially different from the law of causality" (p.66). Também aqui a experiência é vital para que esta lei do pensamento possa engendrar conhecimento:

"The law of sufficient reason is an excellent instrument in the hands of an experienced investigator, but is an empty formula in the hands of even the most talented people in whom special knowledge is lacking" (p.69).

Estas duas leis do pensamento emergem da observação de conexões entre fenómenos, sendo, deste ponto de vista, similares.

Mas, escreve Mach,

"how is a person who has made no experiments to apply this theorem ["the effect is determined by the cause"]? Give him a lever with arms of equal length and with its ends loaded with equal weights, but with the weights and arms of different colours and forms. Without experimental knowledge, he will never discover those circumstances which alone are relevant" (p.66).

Considerando Mach que o teorema de exclusão do movimento perpétuo é uma forma da lei da causalidade não será, assim, difícil "to discover the source from which the principle of excluded perpetual motion arises" (p.69).

Com efeito:

"If a group of phenomena is to become the source of continual work, this means that it shall become a source of continual variation of another group of phenomena. For, by means of the general connexion of nature, all phenomena are also connected with

mechanical phenomena, and therefore with the performance of work. Every source of continual variation of phenomena is a source of work, and inversely" (p.69).

Assim, a exclusão do movimento perpétuo é uma forma particular da lei da causalidade, encarada como conexão entre fenómenos:

"If a group of phenomena x,y,z,... is to become a source of work, a source of the continual variation of another group a,b,c,..., the group x,y,z,... itself must be engaged in continual variation. This is a clear form of the theorem of excluded perpetual motion is merely a special case of the theorem here enunciated" (p.70).

Mas esta forma de enunciar é completamente abstracta e não diz nada sobre que tipo de fenómenos interfere com que outro tipo de fenómenos, ou, como diz Mach, "which phenomena depend on one another and in what manner, and which do not, can be taught only by experience, and the law of causality says nothing about it" (p.71, o sublinhado é nosso).

E mais uma vez convém reforçar, pelas implicações pedagógicas que daí poderão advir, que:

"the theorem of excluded perpetual motion, without positive experience, is just as empty as the law of sufficient reason and all formal laws of that kind. On this account - and history teaches this - it has found more and more applications in physics as positive knowledge progressed. First it was applied in mechanics alone, then in the theory of heat, and lastly in the theory of electricity. Abstract theorems alone lead to nothing" (p.71).

E Mach continua dando alguns exemplos, nomeadamente, o caso do pião em rotação:

"A top which is protected from resistance can rotate uniformly without becoming a source of work. Its angular velocity remains constant, but its angle of rotation varies continually" (p.72).

O problema está em ser capaz de distinguir as variações que interessam, neste caso as variações que são fonte de trabalho. E aí, de acordo com Mach, só a experiência poderá ajudar. No que diz respeito a este caso, escreve:

"experience adds - what the principle does not know - that in this case only variations of velocity, and not variations of position, can become a source of other variations. But if one were to think that the top's continual variation of position is connected with no other

continual variation, it would again be a mistake. It is connected with the increasing angle of rotation of the earth" (p.72).

Portanto, não é qualquer variação que interessa, Mayer diria que seria necessário identificar as "causas", ou seja, o tipo de fenómenos que tem sempre efeitos. Neste caso, como diz Mach, "a rotating top can perform work if its angular velocity decreases" (p.71).

Outro exemplo, abordado por Mach:

"The mere lying side by side of a copper and a zinc plate will generate no electric *current*. From where, indeed, would the continual variation come if the plates themselves underwent no such variation? But if a continual chemical change of the plates occurs, we have no further objection to make against the supposition of an electric current" (p.72).

Deste modo, a dimensão lógica do princípio de conservação da energia, ou da conservação do trabalho, se quisermos utilizar as palavras de Mach, tem origem numa forma da lei da causalidade - a exclusão do movimento perpétuo. Mas esta dimensão lógica e formal (à dimensão lógica junta-se uma definição de trabalho, que constitui a dimensão formal) não é suficiente para o enunciado do princípio de conservação. Para isso é necessária muita experiência, com todo o seu conteúdo de medição e de conceptualização, acumulada pelos "investigadores da natureza" ao longo dos tempos.

Ainda que Mach e Ostwald tenham partilhado pontos de vista similares sobre a energia há uma grande diferença entre eles. Essa diferença é evidente quando Mach escreve:

"However beautiful, simple, and perspicuous much in the form of the theorem of the conservation of work looks, I cannot feel any enthusiasm for the mysticism which some people love to push forwards by means of this theorem" (p.73).

Porque, para Mach, "the theories are like dry leaves which fall away when they have long ceased to be the lungs of the tree of science" (p.74).

Enquanto que para Ostwald, lembremo-nos, "l'énergie est donc un élément essentiel de toutes les choses réelles, c'est-à-dire concrètes; aussi peut-on dire que c'est dans l'énergie que s'incarne le réel" (L'énergie, Ostwald, p.v).

A crítica a uma visão mecanicista do mundo físico

Já vimos como Mach mostrou que a ideia de exclusão do movimento perpétuo é anterior ao desenvolvimento da mecânica e como ela é incorporada na mecânica. Como refere Mach (*On the Conservation of Energy*) a tendência, que sempre existiu, de explicar os fenómenos físicos através do movimento é compreensível:

"Mechanical events as simple motions in space and time best admit of observation and pursuit by the help of our highly organised senses. We reproduce mechanical processes almost without effort in our imagination. Pressure as a circumstance that produces motion is very familiar to us from daily experience. All changes which the individual personally produces in his environment, or humanity brings about by means of the arts in the world, are effected through the instrumentality of *motions*. Almost of necessity, therefore, motion appears to us as the most important physical factor. Moreover, mechanical properties may be discovered in all physical events. The sounding bell trembles, the heated body expands, the electrified body attracts other bodies. Why, therefore, should we not attempt to grasp all events under their mechanical aspect, since that is so easily apprehended and most accessible to observation and measurement? In fact, no objection *is* to be made to the attempt to elucidate the properties of physical events by mechanical *analogies*.

But modern physics has proceeded *very far* in this direction" (id., p.157).

É contra este reducionismo excessivo que Mach se insurge. E refere os axiomas da física enunciados por Wundt, e partilhados pela maioria dos físicos, no seu tratado *On the Physical Axioms*:

- "1. All natural causes are motional causes.
2. Every motional cause lies outside the object moved.
3. All motional causes act in the direction of the straight line of junction, and so forth.
4. The effect of every cause persists.
5. Every effect involves an equal countereffect.
6. Every effect is equivalent to its cause" (id., p.158).

Sobre estes princípios afirma Mach:

"Theses principles might be studied properly enough as fundamental principles of mechanics. But when they are set up as axioms of physics, their enunciation is simply tantamount to a negation of all events except motion" (id.,p.158).

E pergunta-se um pouco mais adiante:

"Granted that we had a perfect knowledge of the mechanical processes of nature, could we and should we, for that reason, put out of the world all other processes that we do not understand?" (id., p.159).

Assim prossegue Mach:

"Physics treated in this sense supplies us simply with a diagram of the world, in which we do not know reality again. It happens, in fact, to, men who give themselves up with this view for many years, that the world of senses from which they start as a province of the greatest familiarity, suddenly becomes, in their eyes, the supreme .

Intelligible as it is, therefore, that the efforts of thinkers have always been bent upon the , it must yet be affirmed that this is a chimerical ideal. This ideal has often played an effective part in popular lectures, but in the workshop of the serious inquirer it has discharged scarcely the least function. What has really been achieved in mechanical physics is the *elucidation* of physical processes by more familiar *mechanical analogies*, (for example, the theories of light and electricity) or the exact *quantitative* ascertainment with other physical processes, for example, the results of thermodynamics" (id., p.160).

Deste modo podemos apreciar o valor que Mach atribui à mecânica e começa-se a perceber o lugar que Mach lhe atribui no desenvolvimento do princípio de conservação da energia. O ataque que Mach faz aqui à credibilidade da hipótese atômica não assenta numa argumentação convincente. É preciso inseri-lo na sua teoria do conhecimento físico.

No que diz respeito ao desenvolvimento do princípio de conservação da energia Mach vai mostrar como não é necessária nem desejável uma redução mecanicista. Se, relativamente ao princípio de exclusão do movimento perpétuo ele mostra como é anterior ao desenvolvimento da mecânica, relativamente ao princípio de conservação da energia pretenderá, ele, mostrar que se trata de uma nova ideia, de uma ideia contemporânea, que não terá, por isso, de procurar a sua essência no movimento, como a teoria mecânica do calor pretende.

Na verdade, como afirma Mach:

"The modern mechanical theory of heat and its view that heat is motion principally rest on the fact that the quantity of heat present decreases in the measure that work is performed

and increases in the measure that work is used, provided that this work does not appear in another form. I say the modern theory of heat, for it is well known that the explanation of heat by means of motion had already more than once been given and lost sight of.

If, now, people say, heat vanishes in the measure that it performs work, it cannot be material, and consequently must be motion" (H.R.P.C.E., p.42).

É esta argumentação que Mach contesta. Ela baseia-se nas duas interpretações sobre a natureza do calor, que ao longo do tempo disputaram credibilidade: calor como substância, calor como movimento. Sendo possível mostrar que o calor desaparece quando há realização de trabalho é-se levado a pensar que calor é movimento. É este tipo de raciocínio que Mach não quer aceitar, mostrando como o calor é uma grandeza construída de determinada forma, tendo, portanto, um carácter histórico. Ele tentará mostrar como o calor poderia ter sido construído de outra forma. A sua especificidade, como forma de energia, como era encarado na época, resulta da particularidade da sua definição.

Como é que o calor vem para a ribalta no desenvolvimento do princípio de conservação da energia?

Vejamos o que escreve Mach a este respeito:

"We can know only from *experience* that mechanical processes produce other transformations, or *vice versa*. The attention was first directed to the connexion of mechanical processes, especially the performance of work, with changes of thermal conditions by the invention of the steam-engine, and by its great technical importance. Technical interests and the need of scientific lucidity meeting in the mind of S. Carnot led to the remarkable development from which thermodynamics flowed. It is simply an *accident of history* that the development in question was not connected with the practical applications of *electricity*" (id., p.160).

10.3 "O Princípio da Energia em Física"

No artigo "On the Conservation of Energy", publicado nas *Popular Scientific Lectures*, Mach tem um capítulo com o título que nós utilizámos como título para este item. É interessante ver como este capítulo começa. A ideia básica é a extensão da exclusão do movimento perpétuo a outros fenómenos físicos, que não puramente mecânicos. Para isso vai buscar Carnot ainda que o princípio que tem origem em Carnot não seja o princípio de conservação da energia.

Mas, como já dissémos anteriormente, é Carnot que vem trazer para a ribalta os fenómenos de calor na sua relação com outros tipos de fenómenos.

A importância das analogias mecânicas é testemunhada pelo raciocínio de Carnot, que Mach põe em evidência. Sobre esta questão conta-nos Mach:

"In the determination of the maximum quantity of *work* that, generally, a heat-machine, or to take a special case, a steam-engine, can perform with the expenditure of a given amount of heat of combustion, Carnot is guided by mechanical analogies. A body can do work on being heated, by expanding under pressure. But to do this the body must receive heat from a *hotter* body. Heat, therefore, to do work, must pass from a hotter body to a colder body, just as water must fall from a higher level to a lower level to put a mill-wheel in motion. Differences of temperature, accordingly, represent forces able to do work exactly as do differences of height in heavy bodies. Carnot pictures to himself an ideal process in which no heat flows away unused, that is, without doing work. With a given expenditure of heat, accordingly, this process furnishes the maximum of work. An analogue of the process would be a mill-wheel which scooping its water out of a higher level would slowly carry it to a lower level without the loss of a drop. A peculiar property of the process is, that with the expenditure of the same work the water can be raised again exactly to its original level. This property of *reversibility* is also shared by the process of Carnot. His process also can be reversed by the expenditure of the same amount of work, and the heat again brought back to its original temperature level" (On the Conservation of Energy, p.160, 161).

E Mach continua explorando o raciocínio de Carnot até à extensão da exclusão do movimento perpétuo a outros domínios da física:

"Suppose, now, we had *two* different reversible processes A, B, such that in A a quantity of heat, Q, flowing off from the temperature t_1 to the lower temperature t_2 should perform the work W, but in B under the same circumstances it should perform a greater quantity of work $W+W'$; then, we could join B in the sense assigned and A in the reverse sense into a *single* process. Here A would reverse the transformation of heat produced by B and would leave a surplus of work W' , produced, so to speak, from nothing. The combination would present a perpetual motion.

With the feeling, now, that it makes little difference whether the mechanical laws are broken directly or indirectly (by processes of heat), and convinced of the existence of a *universal* law-ruled connexion of nature, Carnot here excludes for the first time from the province of general physics the possibility of a perpetual motion" (p.161, 162, o sublinhado é nosso).

Planck irá mais tarde criticar esta indiferenciação entre movimento perpétuo de primeira espécie e movimento perpétuo de segunda espécie (ver o texto de Planck "on the Mach's Theory of Knowledge). Esta extensão do princípio de exclusão do movimento perpétuo a outros fenómenos físicos é o fio condutor para um certo desenvolvimento da conservação da energia. Assim, diz Mach: "About twenty years after the publication of Carnot's book a further advance was made by J. R. Mayer and J. P. Joule" (id., p.163). Este avanço correspondeu, evidentemente, ao estabelecimento da equivalência entre trabalho e calor:

"The thought was therefore present, both to Mayer and Joule, of regarding heat and work as equivalent quantities, so connected with each other that what is lost in one form universally appears in another. The result of this was a *substantial* conception of heat and of work, and *ultimately a substantial conception of energy*. Here every physical change of condition is regarded as energy, the destruction of which generates work or equivalent heat" (id., p.164).

E Mach continua mais adiante:

"If we estimate every change of physical condition by the *mechanical work* which can be performed upon the *disappearance* of that condition, and call this measure *energy*, then we can measure all physical changes of condition, no matter how different they may be, with the same common measure, and say: *the sum total of all energy remains constant*. This is the form that the principle of excluded perpetual motion received at the hands of Mayer, Joule, Helmholtz, and W. Thomson in its extension to the whole domain of physics" (id., p.165, o sublinhado é nosso).

Deste modo Mach coloca em evidência o significado da energia como medida. "Energy and entropy are metrical notions", afirma Mach (p.178). No entanto, Mach reconhece o valor de uma ideia substantiva da energia, tão ao jeito de Mayer e Joule.

Com efeito escreve:

"the modern principle of energy results primarily from a *substantial* conception of work and of every change of physical condition which by being reversed produces work. The strong need of such a conception, which is by no means necessary, but in a formal sense is very convenient and lucid, is exhibited in the case of J. R. Mayer and Joule. It was before remarked that this conception was suggested to both inquirers by the observation that both the production of heat and the production of mechanical work were connected with an

expenditure of substance. Mayer says: , and in another place, . In Joule we find this passage: .

Some writers have observed in such statements the attempt at a *metaphysical* establishment of the doctrine of energy. But we see in them simply the formal need of a simple, clear, and living grasp of the facts, which receives its development in practical and technical life, and which we carry over, as best we can, into the province of science" (p.183, 184).

A forma substancial da energia corresponde a considerar que ela é uma entidade do mundo físico. Como vimos em Mayer, a sua reacção a um materialismo excessivo da ciência traduziu-se pela crença na existência de uma entidade não material mas tão real quanto a matéria. De acordo com Mach esta interpretação algo metafísica não é correcta e substitui-a pelo que ele designa de necessidade formal. Para onfirmar esta ideia apela a Mayer:

"As a fact, Mayer writes to Griesinger: «If, finally, you ask me how I became involved in the whole affair, my answer is simply this: Engaged during a sea voyage almost exclusively with the study of physiology, I discovered the new theory for the sufficient reason that I *vividly felt the need of it*»" (p.184).

Ao dar ênfase a "I vividly felt the need of it" Mach que há uma raiz quase sensorial para esta necessidade formal, encaixando-a bem na sua teoria sobre o conhecimento científico.

Voltando à concepção substancial do trabalho Mach escreve:

"The substantial conception of work (energy) is by no means a necessary one. And it is far from true that the problem is solved with the recognition of the need of such a conception. Rather let us see how Mayer gradually endeavored to satisfy that need. He first regards quantity of motion, or momentum, mv , as the equivalent of work, and did not light, until later, on the notion of living force ($mv^2/2$). In the province of electricity he was unable to assign the expression which is the equivalente of work. This was done later by Helmholtz. The formal need, therefore, is *first* present, and our conception of nature is subsequently gradually *adapted to it*" (p.184).

À pergunta que Mach se coloca "What are the sources of the principle of energy?" temos como resposta:

"All knowledge of nature is derived in the last instance from experience. In this sense they are right who look upon the principle of energy as a result of experience" (p.179).

Mas, como vimos, na perspectiva de Mach e no que diz respeito à emergência do princípio de conservação da energia há que juntar a este lado experimental uma raiz lógica e ter em consideração a necessidade formal de que anteriormente falámos. A raiz lógica, como vimos, é protagonizada pela ideia de exclusão do movimento perpétuo:

"The principle of the excluded motion is very closely related to the modern principle of energy, but it is not identical with it, for the latter is to be deduced from the former only by means of a definite *formal conception*. As may be seen from the preceding exposition, the perpetual motion can be excluded without our employing or possessing the notion of *work*"(p.183).

As fontes do princípio de conservação da energia estabelecidas por Mach serão discutidas mais adiante dentro de um enquadramento pedagógico.

A noção de calor, o segundo princípio e a sua relação com a conservação da energia

Como vimos, Mach sublinhou o mérito de Carnot ao introduzir a linguagem do movimento perpétuo a fenómenos em que o calor joga um papel importante e reconhece a importância do princípio de Carnot "*the quantity of work W , produced by the passage of a quantity of heat Q from a temperature t_1 to a temperature t_2 , is independent of the nature of the substances as also of the character of the process, so far as that is unaccompanied by loss, but is wholly dependent upon the temperature t_1, t_2* " (On the Conservation of Energy, p.162).

Ele enfatiza a ideia de que o princípio "was reached without any assumption whatever concerning the nature of heat, simply by the exclusion of a perpetual motion" (id., p.162).

No entanto, reconhece que:

"[Carnot] was an adherent of the theory of Black, according to which the sum-total of the quantity of heat in the world is constant, but so far as his investigations have been hitherto considered the decision on this point is of no consequence. Carnot's principle led to the most remarkable results" (p.162) -o estabelecimento por Kelvin de uma escala absoluta de temperatura, por exemplo.

Com o desenvolvimento da noção de energia a noção de calor de Black não é mais possível. e há que reformular o princípio de Carnot:

"After it had been proved that heat must *disappear* if mechanical work was to be done at its expense, Carnot's principle could no longer be regarded as a complete expression of the facts. Its improved form was first given, in 1850, by Clausius, whom Thomson followed in 1851. It runs thus: a quantity of heat Q' is transformed into work in a reversible process, *another* quantity of heat Q of the absolute temperature T_1 is lowered to the absolute temperature T_2 . Here Q' is dependent only on Q , T_1 , T_2 , but is independent of the substances used and of the character of the process, so far as that is unaccompanied by loss. Owing to this fact, it is sufficient to find the relation which obtains for some one well-known physical substance, say a gas, and some definite simple process. The relation found will be the one that holds generally. We get, thus,

$$Q'/(Q'+Q)=(T_1-T_2)/T_1$$

that is, the quotient of the available heat Q' transformed into work divided by the sum of the transformed and transferred heats (the total sum used), the so-called *economical coefficient* of the process, is,

$$(T_1-T_2)/T_1" \text{ (p.165).}$$

Que dizer da noção de calor neste desenvolvimento?

Com este percurso está preparado o terreno para a passagem de uma noção de calor como substância para uma interpretação do calor como movimento tão ao gosto dos mecanicistas. Será esta passagem legítima? Do ponto de vista de Mach não é a natureza do calor que está em questão tanto no trabalho de Carnot como mais tarde, aquando do enunciado da conservação da energia, a passagem para uma noção de calor como movimento não é necessária para o desenvolvimento da teoria:

"The generally accepted notion of a caloric, or heat-stuff, was strongly shaken by the work of Mayer and Joule. If the quantity of heat can be increased and diminished, people said, heat cannot be a substance, but must be a *motion*. The subordinate part of this statement has become much more popular than all the rest of the doctrine of energy. But we may convince ourselves that the motional conception of heat is now as unessential as was formerly its conception as a substance. Both ideas were favored or impeded solely by accidental historical circumstances. It does not follow that heat is not a substance from the fact that a mechanical equivalent exists for the quantity of heat" (p.167).

E Mach prossegue mostrando que o que faz com que o calor se tenha tornado substancialmente diferente da electricidade, por exemplo, deriva do facto da medida da quantidade de calor, por razões históricas, seguir uma via completamente diferente do processo de medida da quantidade de electricidade. Portanto, enquanto que à electricidade estão associadas uma quantidade e uma energia, ao calor apenas está associada uma quantidade que é medida como energia. É isto que faz do calor uma noção algo particular e que vai tornar necessário um segundo princípio associado às transformações de energia, do ponto de vista de Mach.

Vejamos como Mach reforça o seu raciocínio aplicando-o à água:

"This is also the case with other physical things. Water does not disappear when work is done. Why? Because we measure quantity of water with scales, just as we do electricity. But suppose the capacity of water for work were called quantity, and had to be measured, therefore, by a mill instead of by scales; then this quantity also would disappear as it performed the work. It may, now, be easily conceived that many substances are not so easily got at as water. In that case we should be unable to carry out the one kind of measurement with the scales whilst many other modes of measurement would still be left us.

In the case of heat, now, the historically established measure of is accidentally the work-value of the heat. Accordingly, its quantity disappears when work is done. But that heat is not a substance follows from this as little as does the opposite conclusion that it is a substance" (p170).

E Mach vai até mais longe não vendo qualquer inconveniente em que se considere, se se sentir necessidade disso, o calor como uma substância.

Com efeito afirma:

"If any one today should still wish to think of heat as a substance, we might allow that person this liberty with little ado. He would only have to assume that that which we call quantity of heat was the energy of a substance whose quantity remained unaltered, but whose energy changed. In point of fact we might much better say, in analogy with the other terms of physics, energy of heat, instead of quantity of heat.

When we wonder, therefore, at the discovery that heat is motion, we wonder at something that was never discovered. It is perfectly indifferent and possesses not the slightest scientific value, whether we think of heat as a substance or not" (p.171).

Esta forma diferente de considerar a medida do calor vai ter consequências, como iremos ver. Mach vai, então, comparar a energia mecânica com a energia térmica, colocando em evidência as semelhanças e as diferenças.

Quanto às semelhanças, escreve Mach:

"A weight P at a height H_1 represents an energy $W_1=PH_1$. If we suffer the weight to sink to a lower height H_2 , during which work is done, and the work done is employed in the production of living force, heat, or an electric charge, in short, is transformed, then the energy $W_2=PH_2$ is still *left*. The equation subsists

$$W_1/H_1=W_2/H_2,$$

or, denoting the *transformed* energy by $W'=W_1-W_2$ and the *transferred* energy, that transported to the lower level, by $W=W_2$,

$$W'/(W'+W)=(H_1-H_2)/H_1 \text{ " (p.172).}$$

Ora esta equação é absolutamente similar aquela que, como consequência do princípio de Carnot (o que não é de admirar, uma vez que Carnot utilizou uma analogia mecânica), foi apresentada anteriormente. Recordemo-la:

$$Q'/(Q'+Q)=(T_1-T_2)/T_1.$$

Assim, Mach consegue provar que não estamos perante um atributo específico do calor, embora esta expressão tenha mais interesse e seja, portanto mais usada, nas transformações de calor em trabalho pois é aí que, numa dada época, reside todo o interesse tecnológico e que, com Carnot, adquire interesse teórico. Equações análogas "may be set up for *every* form of energy" (p.172).

A este respeito escreve Mach:

"When we observe for the first time the agreement here indicated in the transformative law of the energies, it appears surprising and unexpected, for we do not perceive at once its reason. But to him who pursues the comparative historical method that reason will no long remain a secret" (p.172).

Na verdade, a ideia expressa nesta equação está presente desde há muitos anos na mecânica. Como nos conta Mach:

"Since Galileo, mechanical work, though long under a different name, has been a *fundamental concept* of mechanics, as also a very important notion in the applied sciences.

The transformation of work into living force, and of living force into work, suggests directly the notion of energy - the idea having been first fruitfully employed by Huygens, although Thomas Young first called it by the *name* of . Let us add to this the constancy of weight (really the constancy of mass) and we shall see that with respect to mechanical energy it is involved in the very definition of the term that the capacity for work or the potential energy of a weight is proportional to the height of the level at which it is, in the geometrical sense, and that it decreases on the lowering of the weight, on transformation, proportionally to the height of the level. The zero level here is wholly arbitrary" (p.173).

Com isto, a equação dada poderá ser generalizada para todas as formas de energia. Embora Mach não seja um energetista, com este desenvolvimento prepara o terreno para a expressão geral da energética: $E=CI$ (E designa o termo energia, C representa uma capacidade e I uma intensidade). Na verdade, o nível de que fala Mach representa a intensidade nesta expressão geral para as energias.

Este encaminhamento não será de estranhar, como Mach mostra:

"When we reflect on the tremendous start which mechanics had over the other branches of physics, it is not to be wondered at that the attempt was always made to apply the notions of that science wherever this was possible. Thus the notion of mass, for example, was imitated by Coulomb in the notion of quantity of electricity. In the further development of the theory of electricity, the notion of work was likewise immediately introduced in the theory of potential, and heights of electrical level were measured by the work of unit of quantity raised to that level. But with this the preceding equation with all its consequences is given for electrical energy. The case with other energies was similar" (p.174).

Queremos aqui abrir um parêntesis para, uma vez mais, fazer sobressair o método machiano de compreensão das situações: a razão de ser e a pertinência das teorias, das ideias, é dada pela compreensão histórica dos seus desenvolvimentos.

Voltando ao paralelismo que Mach desenvolve entre as diferentes formas de energia chegamos ao momento em que a energia térmica é apresentada com a sua especificidade. A este respeito Mach escreve:

"Thermal energy, however, appears as a special case. Only by the peculiar experiments mentioned could it be discovered that heat is an energy. But the measure of this energy by Black's quantity of heat is the outcome of fortuitous circumstances. In the first place, the accidental slight variability of the capacity for heat c with the temperature, and the accidental slight deviation of the usual thermometrical scales from the scale derived from

the tensions of gases, brings it about that the notion can be set up and that the quantity of heat *ct* corresponding to a difference of temperature *t* is nearly proportional to the energy of the heat. It is a quite accidental historical circumstance that Amontons hit upon the idea of measuring temperature by the tension of a gas. It is certain in this that he did not think of the work of the heat. But the numbers standing for temperature, thus, are made proportional to the tensions of gases, that is, to the work done by gases, with otherwise equal changes of volume. It thus happens that *temperature heights and level heights of work* are proportional to one another" (p.174).

Embora com o calor se obtenham expressões similares às outras formas de energia, como vimos, há, no entanto, uma diferença fundamental: a equação

$$Q/(Q'+Q)=(T_1-T_2)/T_1$$

só é válida para processos reversíveis. Como afirma Mach:

"if the process is not reversible, then more heat than in the foregoing case flows to the lower level, and the surplus can no longer be brought back to the higher level T_1 without some *special* expenditure. W. Thomson (1852), accordingly, drew attention to the fact, that in all non-reversible, that is, in all real thermal processes, quantities of heat are lost for mechanical work, and that accordingly a dissipation or waste of mechanical energy is taking place. In all cases, heat is only partially transformed into work, but frequently work is wholly transformed into heat. Hence, a tendency exists towards a diminution of the mechanical energy and towards a diminution of the *mechanical* energy and towards an increase of the *thermal* energy of the world" (p.176).

Perfeitamente análoga à equação $W_1/H_1=W_2/H_2$ vem a equação estabelecida a partir da teoria de Carnot $-Q_1/T_1+Q_2/T_2=0$, válida para um ciclo reversível, mais tarde generalizada por Clausius para uma composição de ciclos como $\sum Q/T=0$ ou se as variações de temperatura forem contínuas a equação tomará a forma $\int dQ/T=0$. Clausius designou a expressão $\int dQ/T$ por entropia. Se o processo não for reversível a entropia aumenta. E Mach escreve:

"In actual practice this is always the case [refere-se a processos não reversíveis], and Clausius finds himself led to the statement:

1. That the energy of the world remains constant.
2. That the entropy of the world tends toward a maximum.

Once we have noted the above indicated conformity in the behavior of different energies, the peculiarity of thermal energy here mentioned must strike us" (p.177).

Com isto, Mach conseguiu colocar em evidência a especificidade da energia térmica. E de onde vem esta especificidade? É isso que ele tentará explicar. Continuemos, então a seguir o texto de Mach:

"Whence is this peculiarity derived, for generally every energy passes only partly into another form, which is also true of thermal energy? the explanation will be found in the following.

Every transformation of a special kind of energy A is accompanied with a fall of potential of that particular kind of energy, including heat. But whilst for the other kinds of energy a transformation and therefore a loss of energy on the part of the kind sinking in potential is connected with the fall of the potential, with heat the case is different. Heat can suffer a fall of potential without sustaining a loss of energy, at least according to the customary mode of estimation. If a weight sinks, it must create perforce kinetic energy, or heat, or some other form of energy. Also, an electrical charge cannot suffer a fall of potential without loss of energy, i.e, without transformation. But heat can pass with a fall of temperature to a body of greater capacity and the same thermal energy still be preserved, so long as we regard *every quantity* of heat as energy. This it is that gives to heat, besides its property of energy, in many cases the character of a material *substance*, or quantity.

If we look at the matter in an unprejudiced light, we must ask if there is any scientific sense or purpose in still considering as energy a quantity of heat that can no longer be transformed into mechanical work, (for example, the heat of a closed equably warmed material system). The principle of energy certainly plays in this case a wholly superfluous rôle, which is assigned to it only from habit" (p.178).

E eis aqui um Mach disposto a reduzir o domínio de aplicação da conservação da energia. Como ele diz nos fenómenos dissipativos a conservação não leva a lado nenhum, o que interessa é a capacidade de transformação em trabalho. O desenvolvimento do conceito de energia poderia, portanto, ter tomado outra direcção se em vez de se centrar na ideia de conservação se tivesse centrado na capacidade de realizar trabalho. Verificamos, assim, como Mach, contrariamente a Planck, parece disposto a deixar cair facilmente ideias que não lhe pareçam frutíferas, como poderia ter sido o caso da conservação. Mas não foi o caso. A ideia de conservação prevaleceu, como princípio universal. No entanto, como vimos com Planck este princípio pode não acrescentar nada em termos de inteligibilidade dos processos, nomeadamente os processos irreversíveis. Há, portanto, como vimos com Planck necessidade de abordar esses processos à luz de um outro princípio.

O pensamento de Mach como elemento charneira no desenvolvimento de alguns contrastes

A peculiaridade do pensamento de Mach e a clareza dos seus textos permitem-nos desencadear contrastes de grande valor pedagógico pelas questões que nos colocam e pelas respostas que nos sugerem.

Na verdade, poderemos, no que diz respeito ao conceito de energia, contrastar o seu pensamento com a ideia de uma energia substância em vigor a meados do século dezanove e que terá os seus prolongamentos noutros cientistas importantes através de uma certa linguagem, como é o caso de Clausius ao falar da energia do mundo; e ligá-la com o texto de Lavoisier sobre a respiração dos animais: energia como medida. Os contrastes com Planck e com Ostwald darão conta das diferentes formas de olhar para os fenómenos físicos e para a própria história da ciência.

Contrastes com historiadores da ciência contemporâneos e com utilizadores da história da ciência na educação científica permitem-nos colocar o problema da pertinência da nossa própria investigação.

Contrastes com os resultados de investigação no que diz respeito à educação científica, no caso da energia, permitem-nos valorizar componentes que têm sido omitidas, enriquecendo-as com os dados actuais.

10.4 Implicações Pedagógicas

"But our love for nature is inventive, and here, too, much has been accomplished"

E. Mach em *Popular Scientific Lectures*, p.83

Todo este desenvolvimento da conservação da energia visto por Mach tem um valor pedagógico actual que gostaríamos de colocar em evidência. Algumas das suas ideias permitirão estabelecer contrastes com alguns textos de investigadores contemporâneos no que diz respeito à educação científica e mais concretamente no que diz respeito às questões do ensino-aprendizagem da energia.

Tomaremos como ingredientes fundamentais: a importância da exclusão do movimento perpétuo, a importância da experiência, a importância da história para a compreensão de

conceitos e de teorias. Não esqueceremos a ideia colocada em epígrafe de que "our love for Nature is inventive" que nos permitirá valorizar aspectos que têm andado excluídos da investigação e das próprias práticas educativas por serem fontes possíveis das tão proclamadas concepções alternativas.

O movimento perpétuo e o ensino da conservação da energia

Vimos, anteriormente, como para Mach a exclusão do movimento perpétuo constitui uma raiz lógica para o desenvolvimento da conservação da energia, mais efectivamente quando generalizada a outros fenómenos que não apenas os mecânicos.

Embora Kuhn não desenvolva o contributo da impossibilidade do movimento perpétuo na emergência da conservação da energia e não faça deste aspecto um factor para a explicação da conservação da energia como descoberta simultânea, ele não deixa de reconhecer o seu valor como instrumento intelectual. Kuhn escreve:

"the impossibility of perpetual motion, for example, was an essential intellectual tool for most of the pioneers. The ways in which many of them arrived at the conservation of energy cannot be understood without it. Yet recognizing the intellectual tool scarcely contributes to an understanding of simultaneous discovery because the impossibility of perpetual motion had been endemic in scientific thought since antiquity. Knowing the tool was there, our question has been: why did it suddenly acquire a new significance and a new range of application? For us, that is the more significant question" (p.340).

Como vimos Mach tentou dar uma resposta a esta questão.

Ainda a respeito da impossibilidade de movimento perpétuo kuhn acrescenta numa nota:

"Remember also that in 1775 the French Academy formally resolved to consider no more purported designs of perpetual motion machines. Almost all of our pioneers make use of the impossibility of perpetual motion, and none feels the slightest necessity of arguing about its validity. In contrast, they do find it necessary to argue at length about the validity of the concept of universal conversions. Grove, for example, opens his *Physical Forces* (pp.1-3) with a plea for a fair hearing of a radical idea. The idea turns out to be the concept of universal conversions developed at great length in the text (pp.4-44). The impossibility of perpetual motion is casually applied to this idea without argument in the

last seven pages (pp.45-52). It is facts like these that led me to call the steps from universal conversions to an unquantified version of conservation " (p.355).

Com efeito Grove (1848) acaba o seu artigo escrevendo:

"on trouve un aide puissant dans la conviction intime qu'aucun phénomène physique ne peut être isolé; chacun d'eux est inévitablement uni à des évolutions antérieures, et aussi inévitablement fécond en transformations subséquentes de l'un dans l'autre" (p.42).

Digamos, portanto, que a impossibilidade do movimento perpétuo é o pano de fundo para a proliferação dos fenómenos de conversão aproximando-se, assim, de Mach que vê na impossibilidade do movimento perpétuo a dimensão lógica no estabelecimento de conexões entre fenómenos.

Solomon, no seu livro *Getting to Know about Energy* aborda o movimento perpétuo num capítulo dedicado às tecnologias da energia. Aqui a exclusão do movimento perpétuo aparece como uma crença que está na base de algumas ideias de cientistas tão importantes como Stevinus e Faraday. Relativamente a este último Solomon escreve:

"Nearly three centuries later [relativamente a Stevinus], in 1839, when the Principle of Conservation of Energy had still not been formulated, Michael Faraday showed the same strong intuitive belief in it that Stevinus had. At this time he was having a correspondence with Volta about where the electric power in his new battery came from. Volta favoured the contact between different metals (copper and zinc) as the source of the electric current. Faraday thought there might be some chemical origin to the effect. At any rate he was prepared to argue that Volta's explanation about power coming from a contact, which could be maintained as long as maybe, must be wrong. He based his refutation squarely upon this unspoken physical principle" (p.176).

E conclui que só quando "the Conservation of Energy became generally accepted all idea about perpetual motion had to stop" (p.176). É aqui que Solomon contrasta com Mach. Este coloca a exclusão do movimento perpétuo como ingrediente no desenvolvimento do princípio de conservação da energia, aspecto que está bem ilustrado no exemplo que Solomon dá da divergência entre Faraday e Volta quanto à origem da corrente eléctrica numa pilha, mas que Solomon não valoriza para a construção de uma ideia de conservação. Embora Solomon faça sobressair no exemplo referido a presença de um "unspoken physical principle" é preciso não esquecer o valor da extensão deste princípio, quando, por exemplo, Carnot, em 1824, coloca

em cena o princípio de exclusão do movimento perpétuo no estudo das máquinas térmicas. O princípio era, portanto, já bem falado, na época. Nitidamente neste capítulo Solomon está interessada na história da tecnologia e não é propriamente a compreensão conceptual que a mobiliza ao tomar esta direcção. Contrariamente a Mach, que tem um móbil na compreensão conceptual, ela nunca se pergunta de onde virá esta crença na impossibilidade do movimento perpétuo.

Nos capítulos sobre o ensino/aprendizagem da energia Solomon não dará, portanto, espaço à discussão sobre a importância do movimento perpétuo na aprendizagem da conservação da energia. Mas, quem leu Mach não poderá deixar de se colocar esta questão.

Já vimos com Mach a existência de uma certa ambiguidade relativamente ao que é entendido por movimento perpétuo. Para este autor o princípio da exclusão do movimento perpétuo não é mais do que a aplicação da lei da causalidade.

A procura do movimento perpétuo está associado ao desenvolvimento de tecnologias. Se, como vimos, a ideia de exclusão do movimento perpétuo está presente nos desenvolvimentos da mecânica dos séculos XVI, XVII e XVIII é, no entanto, a extensão da indústria que é acompanhada pelo que é descrito por Balfour Stewart em 1874:

"Now, amid the crowd of workers smarting from the curse of labour, there rises up every now and then an enthusiast, who seeks to escape by means of an artifice from this insupportable tyranny of work. Why not construct a machine that will go on giving you work without limit without the necessity of being fed in any way. Nature must have some weak point in her armour; she is only tyrannous on the surface, and in order to stimulate our ingenuity, but will yield with pleasure to the persistence of genius" (p. 139).

Na grande maioria dos casos há uma mistura daquilo a que os físicos designam por movimento perpétuo de primeira espécie e movimento perpétuo de segunda espécie². A este respeito

² Clarifiquemos aqui o que é o movimento perpétuo na referência feita ao pensamento de Carnot. Assim escreve Carnot numa nota do texto anteriormente referido:

"Aqui talvez se objete, que el movimiento perpetuo demostrado imposible para acciones mecánicas solas, tal vez no lo sea cuando se emplee la influencia bien del calor, bien de la electricidad; pero puede concebirse los fenómenos del calor y la electricidad debidos a otra cosa que a movimientos cualesquiera de cuerpos y, como tales, no deben someterse a las leyes generales de la mecánica? No se sabe además a *posteriori*, que todos los intentos para producir el movimiento perpetuo por cualquier procedimiento han sido infructuosos, que nunca se ha llegado a producir un movimiento realmente perpetuo, es decir un movimiento que continúe siempre sin alteración en los cuerpos que intervienen para realizarlo?

temos um Planck atento às imprecisões cometidas por Mach. Na verdade, este apenas fala de movimento perpétuo sem, aparentemente, introduzir distinção:

"It is true that this book [refere-se ao livro de Mach: *The Principles of the Theory of Heat*] contains frequent references to the perpetuum mobile, but no particular physical meaning is attached to this term. For a perpetuum mobile of the first kind (the production of energy from nothing) is constantly confused with a perpetuum mobile of second kind (uncompensated production of energy from heat). For instance, when Mach says: (p.318), he is no doubt thinking of a perpetuum mobile of the first kind. On the other hand, when he says: «A reversible cycle produces the maximum amount of energy which can correspond to the transfer of a precise amount of heat from a higher to a lower temperature. This maximum is the same for all materials, since otherwise perpetual motion would be possible» (p.302), we must assume, if this statement is to have any meaning, that he is thinking of a perpetuum mobile of the second kind. The fact that the two laws, stating the impossibility of the two kinds of perpetuum mobile, are totally different - that for instance, the first law can be reversed (energy cannot be destroyed) but the second law cannot (the uncompensated production of heat from energy is by no means impossible); that the energy principle (the first proposition) is based on the first law, while the Carnot-Clausius principle (the second proposition) is based on the second law" (Planck em *Physical Reality*, p.49).

Algunas veces se ha considerado que el aparato electromotor (la pila de Volta) es capaz de producir movimiento perpetuo; se ha intentado llevar a cabo esta idea construyendo pilas secas, supuestamente inalterables. Pero a pesar de todo lo que se haya hecho, el aparato siempre ha sufrido deterioros apreciables, cuando su acción se ha mantenido durante un cierto tiempo con alguna energía.

La acepción general y filosófica de las palabras movimiento *perpetuo* debe comprender, no sólo un movimiento susceptible de prolongarse indefinidamente después de recibir un primer impulso, sino la acción de un aparato, de un montaje cualquiera, capaz de crear potencia motriz en cantidad ilimitada, capaz de sacar del reposo sucesivamente a todos los cuerpos de la naturaleza, si se encontraran inmóviles, de destruir su principio de inercia, capaz en definitiva de sacar de sí mismo las fuerzas necesarias para mover el universo entero, para prolongar, para acelerar incesantemente el movimiento. Esto sería una verdadera creación de potencia motriz. Si fuera posible, sería inútil buscar esta potencia motriz en las corrientes de agua y de aire, en los combustibles; habríamos tenido a nuestra disposición una fuente inagotable donde podríamos gastar libremente" (p.46).

Temos aqui, claramente enunciadas, duas significações para a expressão movimento perpétuo: a ideia de um movimento eterno e a ideia de criação de movimento sem qualquer alteração dos corpos intervenientes.

Do ponto de vista pedagógico as duas linguagens (Planck e Mach) interessam-nos. Com Mach temos a possibilidade de estabelecer conexões entre diferentes fenómenos físicos. Como ele afirma (1986):

"Carnot, Mayer, Joule, and Helmholtz had, in the period from 1824 to 1847, transferred the principle of the excluded perpetuum mobile from the domain of mechanics to the whole domain of physics, and had strongly emphasized its importance" (p.251).

A exploração de alguns aspectos da lei da causalidade pode ser interessante, para níveis etários baixos. Por exemplo, utilizando alguns dos dispositivos apresentados nas páginas 249 e 250 poderemos provocar algumas perplexidades e procurar “causas” para alguns acontecimentos. Com Planck podemos apreciar as naturezas diferentes de diferentes fenómenos. Planck aproveita todas as oportunidades para colocar em evidência a diferença substancial entre o primeiro e o segundo princípio.

A questão que nos ocorre será a de nos perguntarmos de qual o valor que poderá ter hoje a problemática do movimento perpétuo, numa sociedade em que a palavra-chave parece ser a de “consumo”? Ortolí e Witkowski (1996) escrevem, a este respeito:

"Tous les bébés, récapitulant en cela l'évolution de l'humanité, ont leur âge de la roue. Couchés au ras du sol, tenant d'une main une petite voiture, ils peuvent passer un temps infini à observer une roue tourner dans un sens, s'arrêter, puis tourner dans l'autre. Quelques années plus tard, les plus pragmatiques rejoueront à ce jeu délicieux au volant de leur puissante limousine; d'autres, plus rares, consacreront de longues heures, et parfois leur fortune, à mettre au point non pas une roue qui tourne, mais LA roue, celle qui tourne sans jamais s'arrêter, transformant ainsi leur indicible fascination enfantine en extase cosmique. En un mot comme en mille, ils vont se lancer à la poursuite du mouvement perpétuel" (p.37).

E continuam, mais adiante:

"comme une ombre discrète, les machines à mouvement perpétuel suivent fidèlement les progrès de la mécanique. Au Moyen Age, il s'agit essentiellement de moulins à eau. actionnant une vis d'Archimède (ou vis sans fin...) qui fait remonter l'eau qui vient de les faire tourner, ils se multiplient sur le papier vélin des premiers traités de mécanique. Puis ce sont des moulins à vent, actionnant un soufflet qui les actionne eux-mêmes. Puis des

pendules articulés d'une grande complexité, avec des cames huilées, des roulements diamantés et des poids habilement placés. Des aimants baladeurs, des tubes capillaires, des enchaînements d'éponges qui se gorgent d'eau puis la libèrent lorsqu'elles sont pressées, précèdent une cohorte de machines électriques qui pointent leurs fils spiralés et leurs contacts de cuivre dès l'invention de la pile par Volta, en 1800. Tous ces engins sont bien sûr victimes des frottements et des impitoyables lois de la mécanique, mais loin d'être un cimetière à illusions perdues, le musée des machines perpétuelles constitue un merveilleux hymne à l'ingéniosité humaine" (p.39).

A engenhosidade e a beleza dos mecanismos propostos é enfatizada por estes autores.

E sobre a questão de saber se o movimento perpétuo continua a constituir uma certa tensão problemática, escrevem eles:

"la loi de la conservation de l'énergie, qui stipule que l'énergie d'un système isolé peut changer de forme, mais en aucun cas augmenter ou diminuer, n'y mit pas non plus un frein. Et pas davantage la démonstration de l'impossibilité du mouvement perpétuel, que donne magistralement, en 1824, Nicolas Léonard Sadi Carnot, dans ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu et les machines propres à développer cette puissance*. (...)

Carnot prend l'exemple d'un moulin, actionné par la chute du calorique (la de l'époque) d'une source chaude à une source froide. Commencée par une réflexion sur les moulins l'histoire du mouvement perpétuel, c'est bien naturel, finit par un moulin.

Point final? Pas tout à fait.

(...)

Le mouvement perpétuel, chassé des moulins, des horloges et des moteurs, s'est réfugié dans les atomes (où les électrons -bien que dans des états quantiques - n'arrêtent pas de tourner depuis des milliards d'années) et singulièrement dans ces fragiles et inquiétantes merveilles de la technologie que sont les surgénérateurs nucléaires" (p.40).

Não resistimos a transcrever todo este texto pela forma poética como está escrito. Estes textos contêm pistas pedagógicas preciosas.

Considerações Finais

Depois de todo este percurso, temos já os elementos essenciais para promover a discussão sobre o valor de noções como a de degradação da energia (nivelamento de diferenças). Tem sido apontado pelos investigadores no âmbito da Didáctica da Física a introdução desta noção como o ingrediente fundamental para uma possível compreensão da conservação da energia. Ora, depois de termos acompanhado o pensamento de Planck teremos de reconhecer o poder de inteligibilidade do mundo físico que o segundo princípio representa, autonomizando-se, completamente, do princípio de conservação.

As questões das dificuldades de aprendizagem da conservação da energia levaram alguns autores, como é o caso de Solomon, a propor como conceito fundamental o conceito de “running down” (ver capítulo 2), por ser mais fácil, já que é de grande visibilidade. Esta proposta está a esquecer que a noção de “running down” não tem a generalidade com que parece ser tratado e que por isso mesmo pode ser fonte de dificuldades acrescidas.

Como vimos, a evolução do segundo princípio até à sua interpretação probabilística está povoada de grandes discussões e de grandes dificuldades. Estamos já muito longe da interpretação inicial de Clausius:

“A interpretação de Clausius reveste uma significação muito profunda, que terá repercussões importantes; a natureza é, sem dúvida, um reservatório inesgotável de energia e, acima de tudo, de energia térmica, mas nós não podemos dispor dessa energia sem condições” (Prigogine e Stengers, 1986, p.186).

Como escrevem Prigogine e Stengers no livro *Entre le Temps et l'Éternité* (1988):

“Le seul événement auquel [la thermodynamique définie au XIXe siècle] puisse donner sens est la préparation initiale d'un système loin de l'équilibre, et ce qu'elle décrit est la manière dont cet événement devient insignifiant: le système oublie la particularité de son origine pour évoluer vers un état que quelques variables suffisent à décrire.

Comment expliquer le changement de signification qu'a connu, au cours de ces vingt années, la notion d'irréversibilité? Comment est-il possible que le second principe ait cessé de s'identifier à la disparition de toute activité, de toute différence, et puisse participer aujourd'hui à la compréhension d'un monde intrinsèquement évolutif” (p.48).

Acompanhámos com Planck o desenvolvimento de uma noção de irreversibilidade que se foi desligando da noção de desordem – encontramos aí a centelha para os novos desenvolvimentos da Termodinâmica não linear. O carácter estatístico do segundo princípio, que gerou em Planck algumas dificuldades, será a origem de desenvolvimentos matemáticos que integrarão cada vez mais a complexidade dos processos.

Os novos desenvolvimentos associados à evolução dos processos, à ciência do devir, divulgados por Prigogine e Stengers nas obras referidas, estarão mais uma vez na origem da contaminação de diferentes áreas do conhecimento, tendo, hoje, a noção de complexidade, um papel semelhante ao que teve a energia no século dezanove.

Continuemos com Prigogine e Stengers:

“Le second principe, tel qu'il fut énoncé par Clausius, avait certes pour object ce que nous pouvons appeler l'activité physico-chimique de la matière. Les réactions chimiques, les phénomènes de transport, de diffusion, de propagation, qui correspondent à des évolutions à entropie croissante, ne peuvent être idéalisés comme des processus réversibles, contrairement au mouvement du pendule par exemple. Toute réaction chimique marque une différence entre le passé et le futur, se produit dans la direction de

notre futur. De même, c'est dans la direction de notre futur, non dans celle de notre passé, que la chaleur diffuse d'un point plus chaud vers un point plus froid. Cependant, le seconde principe, au sens de Clausius, définissait cette activité d'un point de vue très particulier: en tant que, dans certaines conditions, elle mène inévitablement à sa propre disparition, c'est-à-dire à l'état d'équilibre" (p.49).

Estes autores colocam-se, então, a questão de saber como encarar a actividade físico-química, produtora de entropia, de uma forma mais geral? Esta questão é fundamental para nós, já que a noção de degradação ocupa em termos escolares a generalidade que não tem.

Utilizando como metáfora a ideia, Prigogine e Stengers (1988), de que a intensificação das relações sociais provocada pela vida urbana é simultaneamente fonte de desperdícios, de poluição, e de invenções práticas, artísticas e intelectuais (p.51), diremos que a visão da natureza que o conhecimento nos dá – resultante da intensificação da relação do homem com a natureza – inclui estes dois lados. E o lado produtor de diferenças é fundamental para a compreensão do lugar da vida no mundo. Ou como diz Haken (1983):

"the spontaneous formation of well organized structures out of germs or even out of chaos is one of the most fascinating phenomena and most challenging problems scientists ser confronted with. Such phenomena are an experience of our daily life when we observe the growth of plants and animals. Thinking of much larger scales, scientists are led into the problems of evolution, and ultimately, of the origin of living matter. When we try to explain or understand in some sense these extremely complex biological phenomena, it is a natural question whether processes of self-organization may be found in much simpler systems of the unanimated world.

In recent years it has become more and more evident that there exist numerous examples in physical and chemical systems where well organized spatial, temporal, or spatio-temporal structures arise out of chaotic states" (p.viii, o sublinhado é nosso).

Este autor dá vários exemplos, muito claros e aos quais ele dá uma grande visibilidade pelas imagens que usa, para que se possa apreciar o facto de que os fenómenos de degradação não são, de forma alguma, gerais.

Vejamos, então, alguns dos exemplos apresentados por Haken (1983).

1. Situações de desaparecimento de diferenças

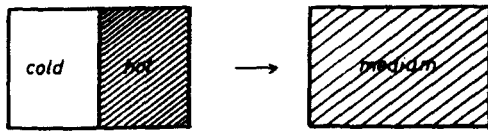


Figura c.f.1 Transferência irreversível de calor

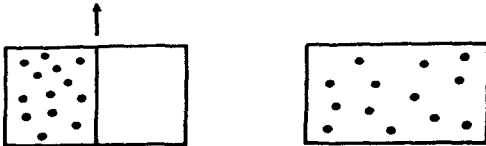


Figura c.f.2 Expansão irreversível de um gás

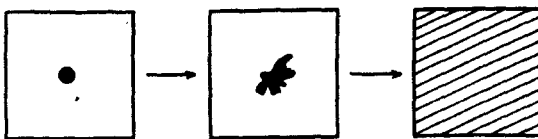


Figura c.f.3 Espalhamento de uma gota de tinta em água



Figura c.f.4 Difusão de nuvens

2. Situações de emergência de diferenças

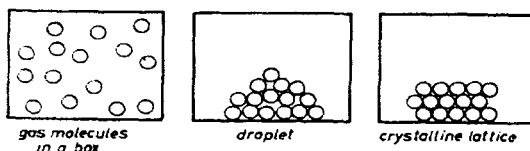


Figura c.f.5 Água nas suas diferentes fases

Relativamente a esta situação Haken escreve:

“On the other hand when we manipulate a system from the outside we can change its degree of order. Consider for example water vapor. At elevated temperature its molecules move freely without mutual correlation. When temperature is lowered, a liquid drop is formed, the molecules now keep a mean distance between each other. Their motion is thus highly correlated. Finally, at still lower temperature, at the freezing point, water is

transformed into ice crystals. The molecules are now well arranged in a fixed order" (p.2-3).

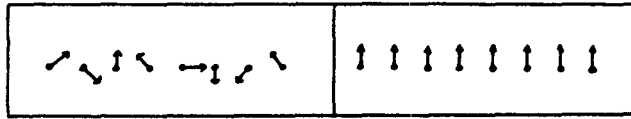


Figura c.f.6 Magnetes elementares com orientações caóticas acima da temperatura crítica, e com orientações ordenadas abaixo dessa temperatura

Esta situação ilustra bem como as alterações de ordem a nível microscópico produzem alterações das propriedades macroscópicas.

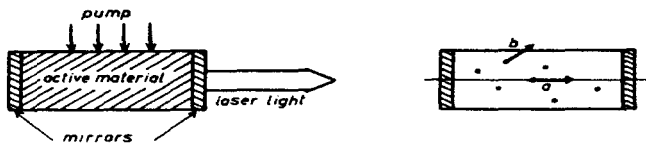


Figura c.f.7 Preparação típica de um "laser"

O "laser" é um caso típico de produção de ordem. Como afirma Haken, trata-se de "a system lying on the border line between a natural system and a man-made device" (p.4).

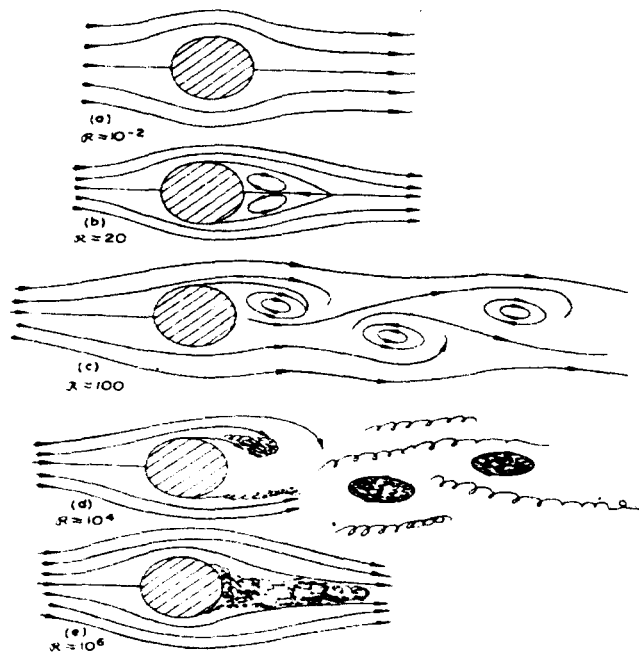


Figura c.f.8 Movimento de um fluido em torno de um cilindro para diferentes velocidades

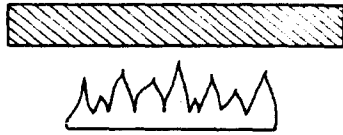
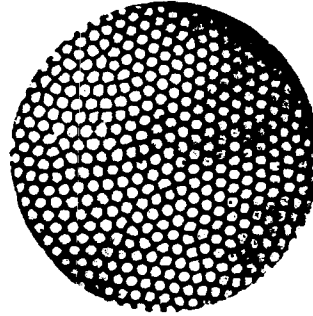


Figura c.f.9 Fluido aquecido por baixo para produção das células de Bénard (vistas de cima) representadas ao lado



Relativamente à instabilidade de Bénard, serão tecidas algumas considerações um pouco mais adiante.

Voltemos, agora, à questão que tínhamos deixado em suspenso – como caracterizar de uma forma mais geral a actividade físico-química produtora de entropia? - avancemos um pouco com a ajuda de Prigogine e Stengers. Estes autores propõem que se defina o estado de equilíbrio como um caso particular de um estado estacionário. A este respeito escrevem:

“Toute variation d’entropie au sein d’un système thermodynamique peut être décomposée en deux types de contribution: *l’apport* «extérieur» d’entropie, qui mesure les échanges avec le milieu et dont le signe dépend de la nature de ces échanges, et dont le signe dépend de la nature de ces échanges, et la *production* d’entropie, qui mesure les processus irréversibles au sein du système. C’est cette production d’entropie que le seconde principe définit comme positive ou nulle. A l’état stationnaire, par définition, la production d’entropie est compensée en permanence par l’apport d’entropie lié aux échanges avec le milieu: le système est le siège d’une activité permanente, productrice d’entropie, qui est maintenue au prix d’échanges continuels avec le milieu. L’état d’équilibre correspond au cas particulier où les échanges avec le milieu ne font pas varier l’entropie et où la production d’entropie est donc elle aussi nulle” (p.49).

A descoberta das estruturas dissipativas vem tornar visíveis outros fenómenos: é o caso da instabilidade de Bénard (ver figura c.f.9):

“As células de Bénard constituem um primeiro tipo de estrutura dissipativa, cujo nome traduz a associação entre a ideia de ordem e de desperdício, tendo sido escolhido de propósito para exprimir o facto fundamental novo: a dissipação de energia e de matéria – geralmente associada às ideias de perda de rendimento e de evolução para a desordem – torna-se, longe do equilíbrio, fonte de ordem; a dissipação está na origem do que se pode muito bem chamar novos estados da matéria” (Prigogine e Stengers em *A Nova Aliança*, p.220).

Em que consistem as instabilidades de Bénard ?

“Prenons, pour mettre en lumière la surprise qu’elles ont constituée, l’exemple célèbre de l’«instabilité de Bénard». Une mince couche liquide est soumise à une différence de température entre la surface inférieure, chauffée en permanence, et la surface supérieure, en contact avec l’environnement extérieur. Pour une valeur déterminée de la différence de température, le transport de chaleur par conduction, où la chaleur se transmet par collision entre les molécules, se double d’un transport par convection, où les molécules elles-mêmes participent à un mouvement collectif. Se forment alors des tourbillons qui distribuent la couche liquide en «cellules» régulières” (p.52).

Há uma grande variedade de processos longe do equilíbrio, a instabilidade de Bénard desaparece logo que o constrangimento de não equilíbrio desaparece mas há processos químicos que incorporam essas condições:

“L’irréversibilité, ici, ne se borne pas à conférer à la matière un comportement transitoire ou fugace, elle est susceptible de s’inscrire dans cette matière.

Prenons d’abord des flocons de neige. Si un flocon est constitué de cristaux très réguliers, sphériques, nous pouvons en déduire qu’il s’est formé près de l’équilibre. Si au contraire, ses cristaux présentent une structure à branches bien développées, il s’est formé loin de l’équilibre: la croissance a été très rapide, les molécules n’ont pas eu le temps de diffuser régulièrement sur la surface. A l’étude du cristal idéal se substitue aujourd’hui celle des cristaux concrets, dont chacun constitue, par sa structure singulière (défauts, dislocations, etc.), une mémoire du chemin emprunté lors de sa formation. De nouvelles propriétés électriques, magnétiques, mécaniques, optiques, peuvent ainsi être créés, qui ne renvoient pas à une définition générale du matériau, mais à son histoire” (Prigogine e Stengers em *Entre le temps et l’éternité*, p.86).

E assim nos poderemos aproximar das questões relacionadas com a origem da vida, é o que se passa quando Prigogine e Stengers se perguntam “de quelles histoires nouvelles peuvent être

capables ces créatures de l'irréversibilité?" (id., p.86). E aqui é toda uma outra história fascinante que começa.

Assim, a Termodinâmica inicialmente absorvida pelas questões próximas do equilíbrio, cujas descrições correspondem à época da Termodinâmica linear, ganha de novo um interesse acrescido pelas problemáticas fascinantes que poderá colocar, com as novas descobertas – nomeadamente as da escola de Prigogine – e as novas ferramentas correspondentes a uma Termodinâmica não linear, fundadora da passagem ao complexo:

“Se a obsessão do esgotamento, do nivelamento das diferenças produtoras, foi determinante para a interpretação do segundo princípio, foi o modelo biológico que constituiu a fonte de inspiração decisiva no que concerne à história que se seguiu: o abandono da restrição da termodinâmica aos sistemas artificialmente separados do mundo, a sua metamorfose numa ciência do mundo povoado de seres capazes de evoluir e de inovar, de seres dos quais não podemos, salvo escravizando-os, dar um comportamento previsível e controlável” (Prigogine e Stengers em *A Nova Aliança*, p.367).

Não pretendemos aprofundar formalismos de tratamento destas questões mas tão somente mostrar o valor destas novas ideias: dar sentido ao “mundo” em que vivemos. É este o partido que tomamos à maneira de Prigogine e Stengers:

“Juger le monde au nom d'un idéal qui est voué à le rendre illusoire, ou tenter de construire, à partir de notre expérience de ce monde, une connaissance pertinente qui donne sens aux distinctions et aux problèmes qu'il nous propose, telle est l'alternative par rapport à laquelle ce texte prend position” (p.32).

A segunda parte deste trabalho traduz o fascínio pelos novos entes artificiais separados do mundo, esta terceira parte traduz o novo fascínio pelo mundo natural. Este fascínio torna-se agora extremamente produtivo pelas ferramentas poderosas que os cientistas foram desenvolvendo.

Considerações Finais

“Pour que toutes ces choses données apparaissent comme douteuses, il faudrait pouvoir porter sur elles ce regard étranger avec lequel le grand Galilée observa un lustre qui oscillait. Lui, ces oscillations l’étonnèrent, comme s’il se les était imaginées différentes, comme s’il ne pouvait se les expliquer, et c’est ainsi qu’il découvrit que le mouvement pendulaire obéissait à des lois. C’est ce regard, aussi difficile que productif, que le théâtre doit susciter par ses reproductions de la vie en commun des hommes. Il doit contindre son public à l’étonnement”.

B. Brecht, em *Petit organon pour le théâtre*, L’Arche, 1963, p.60 (o sublinhado é da nossa responsabilidade).

Linhas de força da investigação

Dada a extensão deste trabalho, torna-se necessário fazer uma pequena *síntese* das ideias fundamentais que presidiram ao seu desenvolvimento, para que os resultados ganhem em significação.

Partimos de uma necessidade e de um desejo de contribuir para tornar o conhecimento científico escolar mais interessante, apontando para uma coincidência “de la joie et de la raison, de l’affect et du concept”¹. As dificuldades de aprendizagem do conhecimento científico não podem ser reduzidas a condicionantes meramente cognitivas de quem aprende. Um conhecimento frio e seco não fica na memória, dizia Vygotsky. Um professor que não esteja ligado intelectual e afectivamente à temática não poderá senão ser protagonista de um ensino frio e pouco estimulante.

Ou seja, estamos preocupados com o conhecimento e com as relações, possíveis e desejáveis, a estabelecer com esse conhecimento.

Uma das palavras-chave para a relação com o conhecimento que pretendemos promover é confiança. Parece-nos absolutamente necessário agir na formação de professores no sentido de lhes fornecer elementos que lhes dêem confiança na temática em questão. Naquela que aqui nos interessa – a energia – este aspecto torna-se ainda mais pertinente dadas as ambiguidades que a podem habitar². Esta confiança dificilmente se poderá adquirir com o

¹ Expressão utilizada por Thomas Bénatouïl (1998) no texto “Deleuze: Spinoza pratique”, Magazine Littéraire, 370, Novembro 1998.

² Veja-se o testemunho de alguns professores em “A Pedagogia do Conceito de Energia”, M. Valente (1993), p.190-191.

ensino formal, estritamente disciplinar; ela joga-se, essencialmente, ao nível da significação. No caso em estudo, a via que nos parece indicada para o efeito é a história da ciência, tal como tinha sido por nós preconizado num trabalho de investigação anterior (1993).

Esta questão da confiança torna-se tanto mais pertinente quanto algumas das propostas didácticas resultantes da investigação nesta área podem, a nosso ver, induzir indesejados efeitos de insegurança. Consideremos, por exemplo, uma das propostas para o ensino da energia. Como vimos (capítulo 2), há uma tendência para retirar a ênfase ao aspecto da conservação alegando-se dificuldades psicológicas (de natureza lógico-matemática) associadas à sua aprendizagem, e propondo-se, em consequência que se tome como eixo para o desenvolvimento da temática o “running-down” (o esgotamento das diferenças), por ter um estatuto empírico que o torna mais acessível. Com esta proposta, e falando metaforicamente, está-se a reduzir o mundo à bola que rola até parar. Mas o mundo em que vivemos é muito mais rico do que isso; e o contrário do “running down” é também muito visível. Basta que um aluno traga para a discussão, por exemplo a Vida ou os fenómenos atmosféricos, para que o professor se venha a sentir menos confiante. O poder de uma noção como esta é muito limitado. A investigação deve, nesse sentido, produzir conhecimento didáctico que inclua uma grande clareza nos limites e no valor das noções em questão.

A riqueza das múltiplas noções de energia permite-nos cruzar diferentes domínios da cultura e viver a experiência de sentir, por exemplo, que tanto a ciência como a arte podem ser “alternatives modes of expressing his imaginative joy in nature”³ (Whitehead, 1948, p.45, o sublinhado é nosso). Esta ideia traduz muito bem o que sentimos no contacto com o pensamento dos cientistas do século XIX e no contacto com a pintura da mesma época. A primeira parte da construção histórica que desenvolvemos tenta evidenciar este aspecto, tornando-o vivenciável por outros.

Acreditamos que há uma relação similar entre a forma como nos dirigimos ao professor⁴ e a forma como ele se dirigirá aos seus alunos. Uma didáctica que inclua elementos de autoridade formará um professor que veiculará a autoridade do conhecimento científico⁵ (nomeadamente quando se trata de conceitos cuja designação evoca uma multiplicidade de sentidos e de significados, como é o caso, por exemplo, das noções de trabalho e de energia).

Este trabalho de investigação foi concebido para vir a ter efeitos na formação de professores de Física e na investigação no domínio do ensino das ciências. Para isso, promove uma noção de educação científica, sustentada mais filosoficamente do que psicologicamente - os aspectos psicológicos serão os limites, que há que respeitar, para as ousadias possíveis. Orientámo-nos

³ Whitehead referia-se aos modos alternativos da poesia e da ciência.

⁴ Refirimo-nos às propostas didácticas decorrentes da investigação nesta área.

por W. James (1996) quando escreve: “une méthode éducative doit être d’accord avec la psychologie, mais elle n’est pas nécessairement la seule qui réponde à cette condition. Plusieurs systèmes divergents peuvent respecter également des lois psychologiques” (p.46). Os *limites* psicológicos *não limitam* a necessidade de enriquecimento da variedade de problemáticas.

Como base para o desenvolvimento de uma noção de educação que promova o gosto, a beleza e o poder das ideias (Whitehead) e que tenha como ambição uma noção de cultura encarada como “activity of thought and receptiveness to beauty and humane feeling” (ver p.51 deste trabalho), tomámos como ingredientes fundamentais a metáfora da “flying classroom” (p.3) e a noção de “gesto educativo” de Whitehead (p.53) (o círculo formativo do romance, da precisão e da generalização).

Ao tomarmos e desenvolvermos estas ideias, pretendíamos contrastar com a dualidade desenvolvida por Solomon, no que diz respeito à aprendizagem científica, ao considerar separadamente a educação do cidadão (encarada de um ponto de vista excessivamente utilitarista) e a instrução científica nas teorias estabelecidas (excessivamente dogmática) (ver p.116). Com a noção de “gesto educativo” pudemos desenvolver uma certa harmonia entre as diferentes finalidades da educação científica (ver p.122) e valorizar o que está ausente das duas noções anteriores: a noção de cultura, no sentido de Whitehead.

Com a metáfora da “flying classroom”, desviámos a tónica num ensino centrado nos “objectos” do dia a dia (entendido o dia a dia como o domínio de abordagens pouco estimulantes dos objectos comuns) para um ensino que valorize a novidade (dentro dos limites da “zona de desenvolvimento próximo” de Vygotsky), recorrendo para isso à imaginação e, mais concretamente, à utilização de narrativas que mantenham o interesse e que desenvolvam a sensibilidade aos significados, sentidos e pertinência das coisas. Esta metáfora permite-nos cultivar aquilo que Brecht, na citação em epígrafe, refere como “ce regard étranger”. Brecht tenta transportar para o teatro uma certa dimensão que ele encontrou na prática científica: “il doit contindre son public à l’étonnement”. Ou seja, ele encontra na ciência um lado artístico, que a prática educativa parece ignorar. Quando, com a metáfora da “flying classroom”, introduzimos a ideia de que a aula releva da arte e não da vida real, estamos muito próximos do que Brecht afirma e, tal como ele pretende reproduzir a vida em comum dos homens, de forma a suscitar um olhar novo, também a educação científica deve promover este olhar novo sobre as coisas comuns. Para isso não pode dispensar a metáfora do voo, ou seja a imaginação. Encontrámos, muito nitidamente, esta dimensão em Mayer, quando ele fala em aprender a conhecer os fenómenos (ver o exemplo em que o autor junta

⁵ Ver testemunho. p.157.

dois fenómenos comuns - a queda dos corpos e a ascensão de um líquido numa palhinha – para tentar produzir esse olhar novo, p.266).

Face a estas ideias, acopladas ao desejo de trabalhar a temática da energia - por ser muito rica e por continuar a ser considerada pelos investigadores uma temática a que estão associadas dificuldades de aprendizagem – decidimos que seria o momento de tentar equacionar o problema de outra forma e construir todo um método de investigação que fosse um garante de coerência entre os nossos pressupostos, as nossas interrogações e as nossas finalidades. Já muita investigação foi produzida no âmbito do diagnóstico das noções dos alunos; já alguma investigação foi também produzida no sentido de identificar estratégias de ensino que sejam mais adequadas à resolução das dificuldades de aprendizagem de índole psicológica (ver, por exemplo, Solomon, 1992; Duit, 1984,86).

Ora, as dificuldades com que o ensino das ciências se vai debatendo resultam, muitas vezes, do contacto com um conhecimento científico escolar pouco estimulante e pouco interessante. Tem, a esse respeito, havido pouco investimento numa investigação que se interesse por outros lados do problema e que se interroge sobre o valor dos pontos de partida de algumas propostas didácticas. Configurar outros lados do problema implicou, para nós, uma incidência sobre a significação, o valor e os limites do conhecimento científico, questionando os pontos de partida filosóficos e didácticos da investigação nesta área.

A um leitor menos prevenido poderá parecer que a nossa investigação se insere num quadro de sobrevalorização dos conteúdos científicos, podendo ser encarada como um passo atrás na conquista que representou, na história do ensino das ciências, o enfoque em quem aprende. Tal não é o caso. É por estarmos centrados em quem aprende que não podemos aceitar que uma noção de aprendizagem do conhecimento científico exija uma purificação de valores e se defina, apenas, como uma instrução nas teorias aceites. Como refere Whitehead, “without judgements of value there would have been no science” (estes juízos de valor podem ser estéticos, morais ou utilitários) (ver p.76 deste trabalho). Da mesma forma se poderá dizer que sem juízos de valor não há educação científica:

“Il faut arriver à placer votre élève dans un état où l’object de votre enseignement l’intéresse à tel point que tout autre object d’attention soit banni de son esprit” (W. James, 1996, p.46).

As questões do ensino-aprendizagem das ciências são complexas e a forma, quanto a nós, de evoluir reside em diversificar o mais possível os problemas e os métodos, sob pena de se poder cair no risco de um sistema de produção de ideias “inertes”.

Era nossa convicção que uma pesquisa em torno da construção histórica era não só indispensável para podermos discutir os fundamentos de algumas propostas, como nos parecia ser o instrumento ideal na produção de elementos (especialmente de narrativas) que pudessem vir a alimentar as fases de “romance” e de “generalização”.

Num documento recentemente produzido por uma equipa de investigadores britânicos sobre a educação científica para o futuro, é, precisamente, dada uma grande ênfase ao valor das narrativas na educação científica:

“That science education should make much greater use of one of the world’s most powerful and pervasive ways of communicating ideas – the narrative form – by recognising that its central aim is to present a series of ‘explanatory stories’. (...) By using the word ‘stories’ we do not, of course, wish to suggest that the explanatory accounts provided by science are ‘mere fictions’. Rather we want to emphasise the value of the narrative in communicating ideas and in making ideas coherent, memorable and meaningful” (*Beyond 2000 – science education for the future*, 1998, p.2013).

No mesmo documento, a história da ciência é bastante valorizada. Aderimos a uma boa parte das ideias aí defendidas; sentimos, no entanto, a ausência de elementos que relevem e potenciem a dimensão estética do pensamento.

A partir da crença no valor formativo da construção histórica, produzimos alguma reflexão sobre o tipo de investigação que nos conviria. A noção de história das ciências é ela própria fonte de tensões e de problemas e não pudemos deixar de sobre ela nos interrogarmos.

Não sendo historiadores das ciências, que utilização da história das ciências na educação científica deveríamos privilegiar e protagonizar? A resposta a esta questão está no texto que produzimos. Queremos, no entanto, relevar dois dos aspectos que privilegiámos: os limites do conhecimento científico e a relação apaixonada dos cientistas com as suas questões. Os dois aspectos estão presentes ao longo de toda a construção histórica, encontrando-se o primeiro particularmente evidenciado no texto de Lavoisier e Seguin sobre a respiração. Vivemos o segundo no contacto com o pensamento dos cientistas que trabalhámos, em especial no contacto com Mayer, Joule, Helmholtz, Planck, Ostwald e Mach. Com eles, com a variedade e a riqueza do seu pensamento, quisemos evidenciar o que a mensagem a seguir transcrita pretende veicular:

“inventive genius requires pleasurable mental activity as a condition for its vigorous exercise. «Necessity is the mother of invention» is a silly proverb. «Necessity is the mother of futile dodges» is much nearer to the truth. The basis of growth of modern invention is science, and science is almost wholly the outgrowth of pleasurable intellectual curiosity” (Whitehead, citado na p.76 deste trabalho; o sublinhado é nosso).

Esta ideia foi também muito orientadora dos desenvolvimentos que produzimos. Ela contrasta, por exemplo, com a tese de que, numa educação para o cidadão, trabalhar a conservação da energia é desaconselhado, pelos efeitos negativos que poderá ter no comportamento do cidadão (ver parte primeira - capítulo 2). Se a educação científica para o cidadão for apenas encarada como resposta a uma necessidade, ela não deixará, estamos em crer, qualquer “marca no carácter”.

Sobre os métodos

Da síntese bibliográfica à pertinência da escolha de influências filosóficas

O nosso questionamento e as nossas ideias foram-se desenvolvendo em espiral, como pretendemos mostrar ao longo deste trabalho. Foi, na verdade, nossa intenção ir complexificando as ideias que dão pertinência a esta investigação tornando-as, assim, conceitos potencialmente produtivos de novas problemáticas. Este processo resulta, em boa parte, dos encontros filosóficos que vivemos. A reflexão filosófica a que recorremos não pretende, nem o poderia pretender, ser uma síntese garante do valor das ideias que desenvolvemos. Ela traduz a vivência de verdadeiros “encontros” (“rencontres”), no sentido de Deleuze (o conhecimento cresce através de “rencontres”). Estes habilitaram-nos a clarificar e a valorizar toda a nossa problemática. Ora,

“dès le moment où vous amenez transparence et clarté dans un problème, l’explication est probablement bonne” (M. Serres, 1992, p.119).

Estes filósofos varrem um século (de W. James a Deleuze e a I. Stengers), sem deixarem de, todos eles, ser nossos contemporâneos, no sentido em que as “entidades” produzidas, hoje, são, utilizando uma imagem de M. Serres, “moitié Joconde, moitié Max Ernst” (p.72).

Debate-se muito, hoje, o que deve ser a educação para uma sociedade da informação. Ora, para que esse debate possa dar frutos interessantes, seria importante que autores como W. James, por exemplo, lá pudessem estar com as suas teses sobre a importância da “experiência”, em que “*to experiment désigne l’adhésion complète et concrète à la vie*”: “l’apprentissage (...) [consiste] à vivre en soi-même e pour soi-même une expérience complète” (ver p.30 deste trabalho).

Esta ideia de experiência, vista à luz da nossa contemporaneidade, torna-se ainda muito mais premente, já que há o risco da sobrevalorização da experiência “abscreta”⁶, com perda para a experiência de vida.

Do poder aos limites do conhecimento científico

Se como M. Serres (1992) propõe encararmos o tempo de forma topológica, permitindo-nos aproximar pontos que num tempo linear estão afastados, aprendemos também com aquele autor, mas sobretudo com Whitehead, a tomar consciência do perigo em resvalar para ideias que materializam uma separação hierárquica entre letras e ciências. Ora, “*la raison est statistiquement distribuée partout: nul ne peut en revendiquer l’exclusive possession*” (p.79). A este respeito, os escritos no âmbito da investigação no ensino das ciências são muito ilustrativos, nomeadamente o caso que tratámos. Aí está nitidamente instituído o preconceito: “*raison après, déraison avant*” (M. Serres, p.81). No que diz respeito ao conceito de energia, esta ideia é para nós muito importante já que a palavra energia continua a ter o poder expressivo que lhe foi conferido pelos românticos. Quando vemos, por exemplo, um bailado de Balanchine, dificilmente haverá outra palavra que possa exprimir tão bem a emoção que sentimos. Assim, considerar modernas apenas as utilizações da palavra que de alguma forma estão ligadas à potência mecânica parece-nos ir precisamente nesse sentido “*raison après, déraison avant*”. No caminho que seguimos, há um querer desfazer este preconceito.

O conhecimento científico permite-nos conviver com uma união espantosa, que tentámos exhibir:

“c’est l’union de l’intérêt passionné pour les faits précis et d’une dévotion égale pour la généralisation abstraite, qui constitue la nouveauté dans notre société actuelle” (Whitehead, citado na p.181 deste trabalho).

Sobre a procura de um caminho

O *corpus* deste trabalho é constituído apenas por textos, o que implicou estratégias de leitura, explicitadas na parte primeira (capítulo 2). Poderemos dizer que a produção dos resultados a partir da exploração dos textos históricos teve no seu cerne uma atitude que se pode traduzir pela metáfora, utilizada por J. Schlanger, “d’homme qui fait miel de tout pour son usage propre” (ver p.100). Esta metáfora foi-nos muito útil, pois ajudou-nos a situar relativamente ao trabalho do historiador da ciência. Com efeito, o que nos move é a procura de elementos que nos permitam concretizar uma educação científica concordante com toda a elaboração teórica realizada. A produção deste trabalho tomou como referente didáctico o livro de J. Solomon (1992), *Getting to know about energy*, que fez parte substantiva daquele *corpus* e que teve a função de dar profundidade e relevo às ideias desenvolvidas através da produção de alguns contrastes.

O nosso caminho heurístico não pôde deixar de integrar permanentemente um pouco de meta-análise. Na verdade, podemos fazer nossas as palavras de M. Serres (1992): “en fait je me suis toujours déplacé en analysant des modes de déplacement” (p.165). Daí, talvez, uma certa perda em eficácia no resultado final, mas um ganho significativo na formação do investigador. No que diz respeito à exploração dos textos históricos, decidimos incluí-la na sua totalidade, pois cremos poder vir a ser útil para alguém que decida pegar nalgum destes textos com uma finalidade de formação. A análise dos textos de Mayer poderia, por exemplo, ter sido reduzida aos textos de 1845, onde contactamos com uma montra interessante de conversões de energia, e de 1851, onde “aprendemos a conhecer os fenómenos”.

De uma leitura emotiva a uma estética de escrita

Desde o princípio que temos vindo a defender a importância da ligação à temática que se ensina. Ora esta ligação não é puramente intelectual; ela releva, essencialmente, da emoção

⁶ Contracção entre abstracto e concreto, termo de Hebenstreit, ver Valente e Neto (1992), “El ordenador y su contribución a la superación de las dificultades de aprendizaje en mecánica” *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1).

estética. Nesse sentido, promovemos uma leitura emotiva dos textos que trabalhamos e que Schlanger caracteriza como a leitura que “met l’accent sur l’expression du texte, sur son ton, sur son aspect esthétique (en entendant «esthétique» au sens premier de ce qui a trait aux sentiments)” (citado na p.130 deste trabalho).

A escrita traduz a valorização feita a este tipo de leitura. A estética procurada pode traduzir-se por uma simplicidade de linguagem capaz de dar realce à riqueza de sentidos com que pretendemos habitar o texto.

Dos elementos históricos à confiança do pedagogo

Não sendo nós historiadores da ciência, a questão “Até que ponto é desejável todo um trabalho que não faz a economia das fontes primárias?” esteve sempre presente ao longo da investigação. Para a nossa problemática, essa incursão foi necessária e desejável. No contexto de investigação a que pertencemos, este tipo de investigação faz para nós pleno sentido pois não queremos uma pedagogia submetida à História. Se há aspectos que são criticados, rejeitados mesmo, pelos historiadores da ciência, eles podem ser valiosos para o contexto educativo (por exemplo, uma boa história que exiba a significação de uma ideia).

O facto de mergulharmos nas fontes primárias também nos torna mais confiantes na nossa relação com os aspectos históricos e fornece-nos os elementos necessários para nos precavermos contra reducionismos totalitários.

Pela proliferação de narrativas

A procura de pequenas histórias não se reduz à parte da construção histórica do conceito de energia. Tentámos, nesse sentido, desenvolver todo o questionamento através da introdução de outras pequenas histórias, garantindo, deste modo, o seu sentido. Ou seja, a valorização da narração contaminou todo o trabalho. As pequenas histórias estiveram presentes desde o início até ao seu encerramento, como ainda poderá ser constatado.

E, sobretudo, existimos plenamente ao longo de toda a investigação. Não fomos um “ponto anónimo e sem corpo”, como o foi a personagem de *Palomar* (Italo Calvino, p.123) ao longo de uma parte do seu percurso de busca de conhecimento.

Sobre a utilização de imagens

A emergência do conceito científico de energia sucede numa época em que o visível tem um valor decisivo na construção do conhecimento. Acompanhámos Joule e Mayer nas coisas que viam. Quisemos, na contextualização dessa época, privilegiar a pintura que materializa as diferentes visões, sejam elas concretas ou abstractas. Os pintores de que falamos têm sempre uma relação com o que se está a passar com os cientistas cujo pensamento abordámos. Essa relação pode ser directa, como é a de Helmholtz e Menzel, ou indirecta, como o é a coincidência de Turner estar em Heilbronn na mesma altura (1844) em que Mayer está em plena elaboração teórica da sua noção de força.

As incursões à arte, à história da pintura, à literatura, não têm uma função decorativa ou retórica. Elas são constitutivas de dimensões estruturantes do nosso trabalho. Com uma noção como a energia não poderíamos ser internalistas na abordagem à sua história, já que se trata de uma noção que contaminou, e contamina, toda a cultura.

As incursões feitas a outras áreas do conhecimento ajudaram-nos com o seu olhar estrangeiro a exhibir e a valorizar o olhar imaginativo, produtor “d’étonnement”, da ciência sobre a natureza. Por sua vez, os cientistas com quem estivemos em contacto, fazem existir, diferentemente, a natureza e é do encontro entre uma natureza que se manifesta, que existe, com um pensamento criativo, que se pratica, que nascem os entes científicos que exibem uma singularidade própria.

Sobre os resultados da investigação

O ensino da energia

Tivemos oportunidade de evidenciar a “natureza” especial da conservação da energia:

“contrairement à l’accélération galiléenne, par exemple, dont le plan incliné galiléen a produit à la fois la mesure et l’interprétation, les dispositifs exhibant la conservation de l’énergie étaient donc susceptibles de laisser indéterminée la question de son interprétation” (I. Stengers, 1997, p.35).

Ora, quando, nos artigos de investigação, se parte para uma interpretação dogmática (ver parte primeira) da energia, está-se a contribuir para o desenvolvimento de um conhecimento didáctico assente num pilar autoritário. Este ponto de partida, conjuntamente com o facto de serem sobrevalorizadas as dificuldades psicológicas - nomeadamente de índole logico-matemáticas - acaba por ter efeitos negativos. As propostas didácticas começaram por acentuar o facto de que a conservação da energia não pode ser compreendida sem uma noção de degradação. Seguidamente, discutiu-se se a degradação deveria vir antes ou depois da conservação da energia e, finalmente, assistimos a uma desvalorização da própria conservação (ver parte primeira, capítulo 2).

A conservação da energia tem, inequivocamente, uma raiz estética: a ideia de que ela traduz uma unidade permanente da natureza. Ela permitiu ligar o natural e o artificial, o orgânico e o inorgânico. Não poderemos dispensar a rede de conexões fenomenológicas que está na sua origem (para tal remetemos para o texto de Mayer de 1845 e, particularmente, para a nossa “vitrine” de conversões de energia).

Proliferaram, na época, conferências de divulgação em torno do conceito, o que denota bem o interesse geral da temática. Ela contaminou os domínios do conhecimento social, económico e psicológico (Ostwald é um ilustre representante da ideia de que a energia é a entidade unificadora de todo o conhecimento e do mundo). Era uma ideia empolgante que invadiu toda a cultura. Já anteriormente (finais do século dezoito) a noção de energia dos românticos tinha ganho um espantoso poder de expressão. Contactar, hoje, com o estado nascente de uma visão do mundo centrada nas conexões continua a ser empolgante. Porquê, então, em termos de educação científica, torná-la invisível? Chegamos, com efeito, a uma situação paradoxal: por um lado, esta temática tem um valor formativo, que temos vindo a evidenciar; por outro lado, é rejeitada pelos especialistas em educação científica.

A construção histórica dá-nos uma percepção muito viva do valor e dos limites da conservação da energia e permite-nos iluminar de outra forma as “razões” dos investigadores no âmbito da Didáctica.

Passada a euforia que um tal conceito suscitou, a insatisfação no que diz respeito ao seu poder explicativo começa a instalar-se. Problemas novos emergem e com eles outras formas de olhar o mundo físico: entra em cena o germe de uma ideia de “devir” para os sistemas físicos. Como vimos com o texto de Lavoisier o mesmo balanço energético se aplica a um homem a pedalar e a um homem que recita uma poesia. O mesmo tipo de balanço se aplica a um ser vivo ou a um cadáver. Apesar deste carácter ser comum a qualquer medida em Física, a

questão torna-se, no entanto, mais singular com o conceito de energia, pois com ele unificámos o mundo nos seus aspectos mais variados. Ou seja, com a excitação da ideia de unificação nem nos apercebemos que já saímos da natureza, que esta privilegia determinados “acontecimentos”. O aparecimento da ideia de degradação da energia vem-nos despertar para o facto de que a natureza tem algo a dizer, ela aí está. Planck evidencia muito bem este aspecto, tal como vimos. Há, portanto, uma passagem de um quadro em que tudo é equivalente, “a causa iguala o efeito”, para um quadro em que a causa desaparece, “engolida” no efeito. Há, como diz Planck, fenómenos de naturezas irredutivelmente diferentes, como por exemplo, o movimento de um pêndulo e uma reacção química.

Mas a degradação da energia também é insuficiente para a compreensão do que nos rodeia, degradação sim, mas... Cada vez mais prolifera o nosso contacto com fenómenos que consistem não no desaparecimento mas sim na emergência de diferenças; é o caso, por exemplo, de um turbilhão meteorológico. Se, na verdade, nos convém um “comportamento” garante, por exemplo, de que numa sala não comecem a existir locais privilegiados – onde os “demónios” de Maxwell estejam activos – em que a temperatura comece a subir e outros em que ela comece a descer – o que colocaria em risco a nossa sobrevivência sem, no entanto, violar a conservação da energia – não podemos, todavia, transferir este comportamento para o resto do mundo. Os turbilhões aí estão. Além de que, como dizia Ogborn (1989), numa conferência na Hungria (Energy Alternatives/Risk Education-Energy Education), falar de energia é também falar das flores e da vida em geral. E aí não é a degradação da energia que nos orientará. *A Nova Aliança* e *Entre o Tempo e a Eternidade*, de I. Prigogine e I. Stengers, vêm colocando esta questão desde há muito. Fomos aí – e à obra de Haken, *Synergetics*, outra escola interessada pelos fenómenos de emergência de ordem a partir do caos – buscar os elementos necessários para a valorização deste aspecto (parte terceira, considerações finais).

Hoje em dia temos contacto com áreas do conhecimento em que a complexidade é a dimensão fundamental. Uma educação científica que, apostando no “running-down”, continue a considerar que o que é mais “visível” é o movimento que pára está a esquecer a riqueza dos fenómenos que povoam, hoje, a nossa cultura.

Voltando ao nosso referente pedagógico, a construção histórica que desenvolvemos permitiu-nos detectar a assimetria de alguns pontos de partida dos especialistas em Didáctica. No que diz respeito à energia, a natureza da conservação é por eles estabelecida recorrendo a Feynman, evidenciando o seu carácter abstracto-matemático. Quanto à natureza da degradação da energia, adopta-se uma noção à século dezanove. Porquê esta assimetria? A razão que se dá para enfatizar o “running down” é o tratar-se de um conceito mais fácil do que a conservação da energia – princípio abstracto e difícil. Mas, esta razão assenta na assimetria

de tratamento destas duas noções, degradação e conservação, já que os investigadores parecem satisfazer-se com uma noção nitidamente à século dezanove da primeira, afastando-se, todavia, dessa época no que diz respeito à noção de energia, esta muito ligada a uma rede de conexões fenomenológicas.

Quanto se defende que o “running down” é mais fácil, do ponto de vista da sua aprendizagem, porque é muito evidente empiricamente, está-se a correr o risco de que quem aprende olhe ao lado, com toda a legitimidade. Esse seria mais um contributo para uma física escolar desajustada do mundo em que vivemos. Nele são, com efeito, igualmente visíveis (e estamos a falar do ponto de vista do conhecimento) os fenómenos anti-“running down”.

O privilegiar do “running down”, pelos investigadores nesta área, tem uma função semelhante à que teve a dissipação da energia de W. Thomson na valorização de uma moral de raiz religiosa⁷. Com efeito, para alguns pedagogos, ela é essencial na passagem para uma educação do cidadão, perspectivada na valorização de uma moral de raiz meramente utilitarista. Ora, “necessity is the mother of futile dodges”.

Sobre alguns aspectos da natureza e dos limites do conhecimento científico

Com os diferentes cientistas com que contactámos pudemos colocar em evidência diferentes valores para o conhecimento científico. Por exemplo, “Joule et Thomson, peuvent être dits «vraiment» réalistes: lorsqu’ils parlent de force ou d’énergie, c’est du monde tel qu’il a été créé par Dieu, et non des phénomènes tels que nous les connaissons rationnellement, qu’il s’agit” I. Stengers, p.41). Planck leva-nos num percurso de elaboração abstracta, cuja finalidade é atingir o real. Para Mach, o que existe são as sensações e é a partir delas, e coerentemente com elas, que se constrói o conhecimento. Os “entes” que a ciência lança no mundo são reais (no sentido de Joule), são veículos que nos permitem atingir o real invisível ou são puras ficções coerentes com o mundo das sensações? Estes e outros aspectos julgamos tê-los exibido ao longo deste trabalho e pretendem ser um pequeno contributo para a abordagem à questão da natureza do conhecimento científico.

Mas, para além dessa releção sobre a natureza do conhecimento científico, foi nossa intenção recorrente evidenciar, também, os limites desse conhecimento, com o que pretendemos contribuir para o desenvolvimento de uma ética na nossa relação com o conhecimento em geral.

⁷ Ver Crosbie Smith, *The Science of Energy*, 1998, p.309-311.

Na educação científica privilegiar “ce regard étranger”

O exercício de “ce regard étranger” é, assim o julgamos, o que melhor caracteriza a ideia que temos vindo a desenvolver de “flying classroom”. Contrastámos esta ideia com as ideias vigentes que colocam a tónica, em geral de forma pouco interessante, nos objectos e nas ideias do dia a dia. Do nosso ponto de vista, o dia a dia pode ser objecto do exercício deste olhar estrangeiro. Vimos isso com Mayer. Sentimos isso ao ler Ostwald (*L'énergie*, 1901): com o recurso a situações muito simples – é o caso, por exemplo, do movimento do pêndulo –, ele dá-nos a ver os objectos através de um olhar diferente, o da imaginação científica, provocando em nós uma sensação de espanto e de exaltação. Se compararmos o que sentimos ao ler Ostwald com o que sentimos ao ler os textos do pintor P. Klee (1879-1940), quando este fala do movimento do pêndulo⁸ e constrói, a partir dele, uma forma, localizamos aí uma grande proximidade. O que pudemos captar nos olhares de Mayer e de Ostwald aproxima-se muito de uma história de Proust⁹, na qual o autor pretendia transformar espiritualmente um jovem triste pelo desajuste que lhe provocava o contraste insuportável entre os objectos do seu quotidiano e os belos objectos que ele via representados nas telas dos seus pintores predilectos – palácios, príncipes, etc. . Para o curar dessa tristeza, Proust propõe-lhe uma visita ao Louvre, dirigida às salas, normalmente fora do seu itinerário, onde estavam expostas as obras de Jean-Baptiste Chardin:

“C’était peut-être un choix étrange, car Chardin ne s’était guère intéressé aux ports, ni aux princes, ni aux palais. Il se plaisait à représenter des coupes de fruits, des pots, des cafetières, des miches de pain, des couteaux, des verres de vin et des quartiers de viande. Il se plaisait à peindre des ustensiles de cuisine, pas seulement de jolies chocolatières, mais des salières et des passoires. Quant à ses personnages, ils se livraient rarement à des actes d’heroïsme, l’un d’eux lisait, un autre construisait un château de cartes, une femme rentrait du marché avec deux miches de pain et une mère montrait à sa fille des défauts de sa broderie.

Pourtant, en dépit de la nature ordinaire de leurs sujets, les toiles de Chardin possédaient un extraordinaire pouvoir d’évocation et de fascination” (Botton, 1997, p.171-172).

⁸ Ver *Théorie de l'Art Moderne*, Ed. Denoël, 1985, pp.124, 125.

⁹ Ver livro de Alain de Botton, *Comment Proust peut changer votre vie*, 1997, 170-173.

O contacto com este olhar deveria, do ponto de vista de Proust, ter, no jovem triste, o efeito de abolir o sentimento doloroso que era o sentir-se excluído de um universo estético:

“...en vous promenant dans une cuisine vous vous direz: cela est curieux, cela est grand, cela est beau comme un Chardin” (Proust, citado por Botton, 1997, p.173, o sublinhado é nosso).

Curioso, grandioso, belo – três categorias indispensáveis para uma educação científica, na perspectiva que temos vindo a defender. Esta história coloca em destaque o olhar especial que o artista cultiva e que vem enriquecer o nosso mundo.

O olhar singular que a ciência nos permite desenvolver – resultante do encontro espantoso da imaginação com a força dos “factos” – é também fonte de alegria. E aí está a “coincidência da razão e da alegria”. Os exemplos que destacámos nos textos trabalhados visam, pelo menos potencialmente, proporcionar aos professores uma vivência desta natureza.

Apreciação Final

É claro que algumas limitações poderão ser apontadas ao texto apresentado. A sua extensão, por exemplo, tem como consequência uma certa perda de eficácia compensada, todavia, por ganhos acrescidos na formação do investigador.

Os produtos desta investigação têm de passar pela crítica da acção. O grau de clareza que este tipo de trabalho deverá conter, a pertinência das ideias e a sua consistência, serão primeiramente testados pelo seu valor intrínseco, mas o seu valor maior virá, contudo, da forma como poderá potenciar situações de formação, autenticamente experienciadas.

Os aspectos históricos que privilegiámos não cobrem, nem poderiam cobrir, toda a riqueza da história da energia. As escolhas que fizemos foram orientadas pelo nosso interesse pedagógico, construído e valorizado ao longo do texto.

Cremos poder afirmar que mostrámos como a valorização da História das Ciências nas problemáticas de investigação no âmbito da Didáctica das Ciências pode contribuir fortemente para o desenvolvimento de uma Didáctica Crítica e de uma Didáctica Imaginativa. Parte dos resultados desta investigação pretendem constituir-se como ingredientes apropriados à concretização da “flying classroom”, considerando que o que deixa marcas na memória “releva da arte e não da vida real” (p.4).

Nesse sentido, e tendo em conta o que antes afirmámos, o potencial pedagógico e formativo deste trabalho constitui, para nós, algo que não pode deixar de ser considerado em aberto, o que, não constitui necessariamente, em nossa opinião, uma fragilidade, mas antes uma marca do pensamento contemporâneo,

“ce qui définit la pensée, les trois grandes formes de la pensée, l’art, la science et la philosophie, c’est toujours affronter le chaos, tracer un plan, tirer un plan sur le chaos”
(Deleuze e Guattari, 1991, p.186).

Como investigadores, o que vivemos ao longo deste trabalho está bem traduzido nesta frase: enfrentámos o “caos” e ousámos concretizar um pequeno contributo para o enriquecimento do Pensar na área de conhecimento em que nos incluímos.

Bibliografia

Álvaro de Campos. *Poesias*. Ed. Ática.

Ambrósio, T. (1994). Science in School and the Future of Scientific Culture in Europe – Report from Portugal. Solomon e Gago (coord.). Ed. CE/Science Research Development.

Andersen, H. C. (1938). *Contes*. Paris: Mercure de France.

Anon. (1839). A Week at Manchester. *Blackwood's Edinburg Magazine*, 45 (282), 481-496.

Alliez, E. e Stengers, I. (1984). Energie et Valeur: le Problème de la Conservation Chez Engels et Marx. *Critique Régionale*, 14, 159-200.

Alpers, S. (1990). *L'art de dépeindre: la peinture hollandaise au XVIIe siècle*. Paris: Gallimard.

Bénattouil, T. (1998). Deleuze: Spinoza pratique. *Magazine littéraire*, 370, 47-48.

Bensaude-Vincent, B. (1987). *Langevin - Science et Vigilance*. Paris: Belin.

Bensaude-Vincent, B. (1993). *Lavoisier*. Flammarion.

Bergson, H. (1996). *L'Énergie Spirituelle*. Quadrige - PUF (1ªed. 1919).

Bevilacqua, F. (1986). "Enchantment" and the Post Industrial Society. In *Science Education and the History of Physics*, ed. P. V. Thomsen, University of Aarhus.

Bevilacqua, F. (1988). Histoire de la Physique et Didactique Innovative. In *Science Education and the History of Physics*, ed. Centre Scientifique de Recherche e Centre de Recherche en Histoire des Sciences et des Techniques (Cité des Sciences).

Bevilacqua, F. (1988). The Duck, the Rabbit and the Principle of Conservation of Energy. In *Science Education and the History of Physics*, ed. Centre Scientifique de Recherche e Centre de Recherche en Histoire des Sciences et des Techniques (Cité des Sciences).

Bevilacqua, F. (1993). Helmholtz's Ueber die Erhaltung der Kraft – the emergence of a theoretical physicist. In D. Cahan (ed.), *Hermann von Helmholtz and the foundations of the nineteenth-century science*. University of California Press.

Bevilacqua, F. (1996). The History of Physics and European Physics Education. *Science & Education*, 5, (3), 235-246.

Beynon, J. (1990). Some Myths Surrounding Energy. *Physics Education*, 25, 314-316.

Blackmore, J., Ed. (1995). *Ludwig Boltzmann - his later life and philosophy, 1900 – 1906*. Kluwer Academic Publishers, 1995.

Blüh, O. (1952). The Value of Inspiration - A Study on Julius Robert Mayer and Josef Popper-Lynkeus. *Isis*, 43, 211-220.

Bohn (1864). Historic Notes on the Conservation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 28 (189), 311-314.

Boltzmann, L. (1987). *Voyage d'un Professeur Allemand en Eldorado*, Actes Sud.

Botton, A. (1997). *Comment Proust peut changer votre vie*. Denöel.

Brecht B. (1970). *Petit organon pour le théâtre*. L'Arche.

Bronckart, J.P. e outros (1996). Manifesto - Reshaping humanities and social sciences: a Vygotskian perspective. *Swiss Journal of Psychology*, 55, 74-83.

Brouzeng, P. (1988). Entropie et Irreversibilité. Enseignement et Histoire de la Thermodynamique. In *Science Education and the History of Physics*, ed. Centre Scientifique

de Recherche e Centre de Recherche en Histoire des Sciences et des Techniques (Cité des Sciences).

Browne, W. R. (1883). On the Central Forces and the Conservation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 15, 35-42.

Browne, W. R. (1883). On the Reality of Force. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 16, 387-393.

Browne, W. R. (1883). On the use of the term "Force". *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 15, 368-369.

Bruner, J. (1996). *The Culture of Education*. Harvard University Press.

Brush, S. G., (ed.) (1965). *Kinetic Theory - The nature of gases and of heat* (vol.1). Pergamon Press.

Cahan, D. (ed.) (1993). *Hermann von Helmholtz and the foundations of the nineteenth-century science*. University of California Press.

Cahan, D. (1993). Helmholtz and the civilizing power of science. In D. Cahan (ed.), *Hermann von Helmholtz and the foundations of the nineteenth-century science*. University of California Press.

Cahan, D. (ed.) (1995). *Hermann von Helmholtz, Science and Culture – Popular and Philosophical Essays*. Chicago e Londres:University of Chicago Press.

Calado, J. (1992). Arte na Física. *Ciência*, VI (3), 6-13.

Calvino, I. (1985). *Palomar*. Ed. Teorema.

Caneva, K. L. (1993). *Robert Mayer and the Conservation of Energy*. Princeton University Press.

Carbonnelle, I. (1877). L'Aveuglement Scientifique (deuxième article). *Revue des Questions Scientifiques*, 1, 512-561.

Carbonnelle, I. (1878). L'aveuglement Scientifique (cinquième article). *Revue des Questions Scientifiques*, 4, 578-624.

Cardwell, D. S. L. (1971). *From Watt to Clausius - the rise of thermodynamics in the early industrial age*. Heinemann Educational Books, Ltd.

Cardwell, D. S. L. (1989). *James Joule - a biography*. Manchester University Press.

Carnot, S. (1ª edição 1824). *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. Edição crítica por R. Fox. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1978.

Carpenter, W. B. (1850). On the Mutual Relations of the Vital and Physical Forces. *Philosophical Transactions*, 140, 727-757.

Castro, R. S. e Carvalho, A. M. P. (1995). The Historic Approach in Teaching: Analysis of an Experience. *Science & Education*, 4 (1), 65-85.

Charpak, G. (1997). Changer les Sciences à l'École Primaire - un levier pour transformer la société et créer des «citoyens différents». *La Recherche*, 304, Dezembro, 109-112.

Clausius, R. (1887). *La Théorie Mécanique de la Chaleur* (2ª edição, traduzida a partir da 3ª edição do original alemão por F. Folie e E. Ronkar). Mons: Hector Manceaux.

Clausius, R. (1872). On the Objections raised by Mr. Tait against my Treatment of the Mechanical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 43 (288), 443-446.

Clerc, A. *Physique et Chimie populaires*, Jules Rouff (ed.), 2 volumes.

Cline, B. (1987). *Men Who Made a New Physics*. The University of Chicago Press.

- Close, M. H. (1883). On the Meaning of "Force". *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 15, 248-251.
- Coelho, E. P. (1996, 16 de Março). Crónica. *O Público*.
- Cohen, I. B., Ed. (1981). *The Conservation of Energy and the Principle of Least Action*. Arno Press.
- Cohen, R. S. e Elkana, Y. (ed.) (1977). *Hermann von Helmholtz – Epistemological Writings*. D. Reidel Publishing Company.
- Colding, L. A. (1864). On the History of the Conservation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 27 (174), 56-64.
- Colding, L. A. (1871). On the Universal Powers of Nature and their Mutual Dependence. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 42 (277), 1-20.
- Corbin, S. (1995, 12 Julho). Turner in Germany. *What's On*, p.20.
- Crowther, G. (1962). *British Scientists of the Nineteenth Century*. Routledge & Kegan Paul LTD.
- Dahl, F. (1963). Ludvig A. Colding and the Conservation of Energy. *Centaurus*, 174-188.
- Davy, H. (1883). *Les Derniers Jours d'un Philosophe*. Paris: Didier & Cie et C. Marpon & E. Flammarion.
- Degenhardt, M.A.B. (1991). Art and Intellect. *Studies in Philosophy and Education*, 11, 135-148.
- Deleuze, G. e Guattari, F. (1991). *Qu'est-ce que la Philosophie?*. Ed. Minuit.
- Deleuze, G. (1992). Mystère d'Ariane. *Magazine Littéraire*, 298, 21-24.
- Deleuze, G. e Parnet, C. (1996). *Dialogues*. Flammarion.

Delon, M. (1988). *L'idée d'énergie au tournant des Lumières*. Paris:PUF.

Drago, A. (1988). A new physics teaching as suggested by Sadi Carnot's work. In *Science Education and the History of Physics*, ed. Centre Scientifique de Recherche e Centre de Recherche en Histoire des Sciences et des Techniques (Cité des Sciences), Paris.

Driver, R. e Warrington, L. (1985). Student's use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, 171-175.

Driver, R. (1986). Teaching energy in schools: towards na analysis of curriculum approaches. In R. Driver e R. Millar (Ed.), *Energy Matters-Proceedings of an Invited Conference: teaching about energy within the secondary school*. Universidade de Leeds.

Driver, R. e outros (1996). *Young People's Images of Science*. Open University Press.

Driver, R. e outros (1994). Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, 75-100.

Duit R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity – remarks on the article by Sexl. *European Journal of Science Education*, 3, 291-301.

Duit, R. (1981). Students' notions about the energy concept-before and after physics instruction. Comunicação apresentada na Conferência "Problems concerning students' representation of physics and chemistry knowledge", Ludwigsburg.

Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school – empirical results from the Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, 59-66.

Duit, R. (1986). In search of na energy concept. In R. Driver e R. Millar (Ed.), *Energy Matters-Proceedings of an Invited Conference: teaching about energy within the secondary school*. Universidade de Leeds.

Elkana, Y. (1974). *The Discovery of the Conservation of Energy*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

- Elkana, Y. (1981). The Conservation of Energy: a case of simultaneous discovery?. In Cohen (ed.), *The Conservation of Energy and the Principle of Least Action*. New York: Arno Press.
- Engels, F. (1952). *La dialectique de la nature*. Paris: Ed. Sociales.
- Faraday (1857). On the Conservation of Force. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 13 (86), 225-239.
- Farber, E. (1954). The Color of Venous Blood. *Isis*, 45 (139), 3-9.
- Feynman, R. (1963). *Lectures on Physics* (vol.1). Addison-Wesley Publishing Company.
- Feynman, R. (1980). *La nature de la physique*. Ed. Seuil.
- Fleming, D. (1952). Latent Heat and the Invention of the Watt Engine. *Isis*, 43, 3-5.
- Foote, G. (1952). Sir Humphry Davy and his Audience at the Royal Institution. *Isis*, 43, 6-12.
- Fourez, G. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique-Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Furnham, A. (1992). Lay understanding of science: young people and adults' ideas of scientific concepts. *Studies in Science Education*, 20, 29-64.
- Gill, J. (1863). On the Dynamical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26 (173), 109-116.
- Gillispie, C. C. (1966). *The Edge of Objectivity*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Gillispie, C. C. (ed.) (1972). *Dictionary of Scientific Biography*. New York: Scribner's.
- Goldman, P. (1998 – Dezembro). Long Live the Lecture. *Physics World*. 15-16.
- Gould, S. J. (1991). *La vie est belle*. Ed. Seuil.

- Graham, M. (1991). *Blood Memory*. Doubleday.
- Grattan-Guinness, I. (1984). Work for the Workers: Advances in Engineering Mechanics and Instruction in France, 1800-1830. *Annals of Science*, 41, 1-33.
- Greenberg, D. (1990). Energy, Power, and Perceptions of Social Change in the Early Nineteenth Century. *The American Historical Review*, 95 (3), 693-714.
- Griffith, B. E. e Benson, G. D. (1994). Scientific thought as dogmatism. *International Journal of Science Education*, 16 (6), 625-637.
- Grinevald, J. (1976). La révolution carnotienne – Thermodynamique, Économie et Idéologie. *Revue Européenne des Sciences Sociales et Cahiers Vilfredo Pareto*, 36, 39-80.
- Grove, W. (1848). *Corrélation des Forces Physiques*. Paris: Imprimerie de L. Martinat (tradução de um curso dado em Londres em 1843).
- Guattari, F. (1989). *Les Trois Écologies*. Ed. Galilée.
- Haken, S. (1983). *Synergetics – an Introduction: nonequilibrium phase transitions and self-organization in Physics, Chemistry, and Biology*. Springer Verlag.
- Hamilton, J. (1998). *Turner and the Scientists*. Tate Gallery Publishing.
- Heath, D. D. (1863). Observations on a passage in Professor Tyndall's Lectures on Force and on Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25, 531-536.
- Heilbron, J. L. (1979). *Electricity in the 17th et 18th Centuries*. University of California Press.
- Heilbron, J. L. (1988). *Planck - Une Conscience Déchirée*. Paris: Belin.
- Heimann, P. M. (1974). Helmholtz and Kant: The Metaphysical Foundations of *Über Die Erhaltung Der Kraft*. *Studies in History and Philosophy of Science*, 5(3), 205-238.

Heimann, P. M. (1976). Mayer's Concept of "Force": The "Axis" of a New Science. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 7, 277-296.

Helmholtz, H. (1856). On the Interaction of Natural Forces. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 11 (75), 489-518.

Helmholtz, H. (1869). *Mémoire sur la Conservation de la Force* (edição francesa do texto em alemão de 1847). Paris: V. Masson et Fils.

Helmholtz, H. (1872). On the Theory of Electrodynamics. *Philosophical Magazine and Journal of Science* 44 (296), 530-537.

Helmholtz, H. (1893). *Popular Scientific Lectures*. London: Longmans, Green e Co.

Helmholtz, H. (1874). Scientific Worthies - IV- John Tyndall. *Nature*, X (251), 299-302.

Helmholtz, H. (1995). *Popular and Scientific Essays*. D. Cahan (ed.). Chicago e Londres: University of Chicago Press.

Hiebert, E. N. (1981). *Historical Roots of the Principle of Conservation of Energy*. Arno Press.

Hirsh, H. (1993). *Engels*. Rowohlt.

Holton, G. (1993). *Science and Anti-science*. Harvard University Press.

Holton, G. (1973). *Thematic Origins of Scientific Thought*. Harvard University Press.

Holton, G. (1981). *L'Imagination Scientifique*. Paris: Gallimard.

Honert, M. (1995). *Ein szenisches Modell des Fliegenden Klassenzimmers - nach der Erzählung von Erich Kästner*. Biennale Venedig.

Howe, A. C. (1996). Development of Science Concepts within a Vygotskian Framework. *Science Education*, 80 (1), 35-51.

James, W. (1996). *Conférences sur l'Éducation*. L'Harmattan (textos relativos a uma série de conferências realizadas ao longo do ano de 1892. Tradução e introdução de B. Jolibert).

Janssen, H. (1997). Bringing About Light. In *Mondrian - Nature to Abstraction*, Tate Gallery Publishing.

Jenkins, E. W. (1994). HPS and school science education: remediation or reconstruction?. *International Journal of Science Education*, 16 (6), 613-623.

Joule, J. P. (1843). On the Electrical Origin of Chemical Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 22 (144), 204-208.

Joule, J. P. (1843). On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat - Part II- On the Mechanical Value of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 23, 435-443.

Joule, J. P. (1845). On the Changes of Temperature produced by the Rarefaction and Condensation of Air. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26 (174), 369-383.

Joule, J. (1847). On Matter, Living Force and Heat. In S. Brush (ed.) (1965). *Kinetic Theory*. Pergamon Press.

Joule, J. P. (1847). Expériences sur l'identité entre le calorique et la force mécanique - détermination de l'équivalent par la chaleur dégagée pendant la friction du mercure. *Comptes Rendus*, 25, 309-311.

Joule, J. P. (1849). Sur l'équivalent mécanique du calorique. *Comptes Rendus*, 29, 132-135.

Joule, J. P. (1850). On the Mechanical Equivalent of Heat. *Philosophical Transactions*, 140, 61-82.

Joule, J. P. (1862). Note on the History of the Dynamical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 24 (159), 121-123.

- Joule, J. P. (1863). On the dynamical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26 (173), 145-147.
- Joule, J. P. (1864). Note on the History of the Dynamical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 28, 150-152.
- Keisch, C. e Rieman-Reyer, M. U. (Coord) (1996). *Menzel (1815-1905) – «la névrose du vrai»*. Paris: Réunion des Musées Nationaux.
- Kelland, P. (1863). On the Conservation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26, 326.
- Kelvin (1892). On a Decisive Test-case disproving the Maxwell-Boltzmann Doctrine regarding Distribution of Kinetic Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 33 (204), 466-467.
- Klee, P. (1985). *Théorie de l'art moderne*. Ed. Denöel.
- Kragh, H. (1986). Physics and History: Noble Lies or immoral Truths?. In *Science Education and the History of Physics*, ed. P. V. Thomsen, University of Aarhus.
- Kragh, H. (1992). A Sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory. *Science & Education*, 1, 349-363.
- Kremer, R. (ed.) (1990). *Letters of Hermann von Helmholtz to his wife (1847-1859)*. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- Kuhn, T. S. (1978). *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*. New York: Oxford University Press.
- Kuhn, T. S. (1981). Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery. In *The Conservation of Energy and the Principle of Least Action*, ed. Cohen, New York: Arno Press.
- Kuhn, T. S. (1989). *A Tensão Essencial*. Ed. 70.

Langevin, P. (1913). L'Esprit de L'Enseignement Scientifique. In *L'Enseignement des Sciences Mathématiques et des Sciences Physiques* (Conférences du Musée Pédagogique, Paris, 1904).

Langevin, P. (1913). L'inertie de l'énergie et ses conséquences. *Journal de Physique*, 3, 553-592.

Langevin, P. (1926). La Valeur Éducative de l'Histoire des Sciences. *Bulletin de la Société française de Pédagogie*, 22, 692-700; *revue de synthèse*, 1933, 6-5.

Langevin, P. (1931). Contribution de l'Enseignement des Sciences Physiques à la Culture Générale. *Bulletin de la Société Française de Pédagogie*, 41, 93-106.

Langevin, P. (1939). La science comme facteur d'évolution morale et sociale. *Les Cahiers Rationalistes*, 75, 114-137.

Langevin, P. (1944). Culture et Humanités. *La Pensée*, 1, 25-31.

Langevin, P. (1964). La Pensée et l'action. Paris: Éd. sociales.

Langevin, P. (1962). *La Valeur Humaine de la Science*. Paris: Ed. de l'Union Rationaliste.

Latour, B. (1989). Pasteur et Pouchet: hétérogenèse de l'histoire des sciences. In *Éléments d'Histoire des Sciences*, M. Serres (coord.). Paris: Bordas.

Latour, B. (1989). Joliot: l'histoire et la physique mêlées. In *Éléments d'Histoire des Sciences*, M. Serres (coord.). Paris: Bordas.

Latour, B. (1996). *Petite Réflexion sur le Culte Moderne des Dieux Faitiches*. Synthélabo, Coll. Les Empêcheurs de Penser en Rond.

Lavoisier e Seguin (1789). Premier mémoire sur la respiration des animaux. In A.-L. Lavoisier, *Oeuvres, T. II – Mémoires de chimie et physique* (1862) (sob direcção de J.-B. Dumas). Paris: Imprimerie impériale, 688-703.

Leber, M. e Sandling, J. (ed.) (1997). *L.S.Lowry*. Phaidon Press Ltd.

Lindsay, R. B. (1973). *Julius Robert Mayer - Prophet of Energy*. Pergamon Press.

Lindsay, R. B. (ed.) (1975). *Energy: historical development of the concept*. Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.

Lijnse, P. (1990). Energy Between the Life-World of Pupils and the World of Physics. *Science Education*, 74 (5), 571-583.

Lodge, O. J. (1879). An Attempt at a Systematic Classification of the various Forms of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 8 (49), 277-286.

Lodge, O. J. (1881). On Action at a Distance, and the Conservation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 11 (71), 529-534.

Lodge, O. J. (1885). On the Identity of Energy: in connection with Mr. Poynting's Paper on the Transfer of Energy in an Electromagnetic Field; and on the two Fundamental Forms of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 19 (121), 482-487.

Lodge, O. J. (1893). The Foundations of Dynamics. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 36 (218), 1-36.

Lopes, J. L. e Escoubes, B. (1995). *Sources et Évolution de la Physique Quantique*. Masson.

Lombard, J. (1997). *Bergson - Création et Éducation*. L'Harmattan.

Louden, W. e wallace, J. (1994). Knowing and teaching science: the constructivist paradox. *International Journal of Science education*, 16 (6), 649-657.

Mac Gregor, J. G. (1893). On the Hypotheses of Dynamics. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 36 (220), 233-264.

Mach, E. (1910). The Guiding Principles of my Theory of knowledge and Its Reception by my Contemporaries. In S. Toulmin (1970), *Physical Reality – Philosophical Essays on Twentieth-Century Physics*. Harper Torchbooks.

Mach, E. (1911). *History and Roots of the Principle of the Conservation of Energy*. Londres: The Open Court Publishing Co. (primeira edição em língua alemã em 1872).

Mach, E. (1986). *Principles of the Theory of Heat - Historically and Critically Elucidated*. Ed. Brian McGuinness, D. Reidel Publishing Company (1ª edição em alemão em 1896).

Mach, E. (1986). *Popular Scientific Lectures*. La Salle: Open Court (1ª edição 1894).

Mach, E. (1992). *Ernst Mach – a deeper look*. Ed. John Blackmore, Boston Studies in the Philosophie of Science, 143.

Matthews, M. R. (1994). Discontent with Constructivism. *Studies in Science Education*, 24, 1994, 165-172.

Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching - The Role of History and Philosophy of Science*. Nova Iorque, Londres: Routledge.

Maxwell, J.C. (1874). Grove's "Correlation of Physical Forces". *Nature*, X (251), 302-304.

Maxwell, J.C (1981). *La Chaleur*. Ed. B. Tignol, Paris: Librairie scientifique, industrielle et agricole.

Mayer, J. R. (tradução do texto de 1841). On the Quantitative and Qualitative Determination of Forces. In R. B. Lindsay (ed.) (1973), *Julius Robert Mayer – Prophet of Energy*. Pergamon Press.

Mayer, J. R. (tradução do texto de 1842). The Forces of Inorganic Nature. In S. G. Brush (ed.) (1965), *Kinetic Theory* (vol.1). Pergamon Press.

Mayer, R. (tradução do texto de 1845). The motions of organisms and their relation to the metabolism. In B. Lindsay (ed.) (1975), *Energy: historical development of the concept*. Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.. In R. B. Lindsay (ed.) (1973), *Julius Robert Mayer – Prophet of Energy*. Pergamon Press.

- Mayer, J. R. (1848). Sur la transformation de la force vive en chaleur et réciproquement. *Comptes Rendus*, 27, 385-387.
- Mayer, J. R. (1849). Réclamation de priorité contre M. Joule, relativement à la loi d'équivalence du calorique. *Comptes Rendus*, 29, 534.
- Mayer, J. R. (1863, tradução do artigo de 1851). Remarks on the Mechanical Equivalent of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25 (171), 493-522.
- Mayer, J. R. (1863, tradução do texto de 1848). On Celestial Dynamics. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25 (168), 241-248, 387-409 e 417-428.
- Mernissi, F. (1998). *Sonhos Proibidos – Memórias de um Harém de Fez*. Ed. Asa.
- Millar, R. e Osborne, J. (ed.) (1998). *Beyond 2000: science education for the future*.
- Moon, R. (1874). On the Measure of Work in the Theory of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 47(312), 291-294.
- Moon, R. (1875). Remark's on Helmholtz's Memoir on the Conservation of Force. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 49 (326), 377-385.
- Moon R. (1876). Some Further Remarks on Helmholtz's Memoir on the Conservation of Force; and on the more Modern Mode of Presenting his Theory. *Philosophical Magazine and Journal of Science* 2(9), 114-123.
- Mott-Smith, M. (1934). *The Story of Energy*. D. Appleton - Century Company.
- Mutimucuio, I. (1995, Abril). *Conceptions of energy of students in Mozambique*. Comunicação à First European Conference on Research in Science Education, Universidade de Leeds.
- Neto, A. J. (1995). *Contributos para uma nova didáctica da resolução de problemas: um estudo de orientação metacognitiva em aulas de física do ensino secundário*. Dissertação de doutoramento.

Neto, A. e Valente, M. (1991). A História da Ciência no Ensino da Física: breves reflexões sobre a situação portuguesa. *Revista Portuguesa de Educação*, 4, 54-68.

Newcomb, S. (1889). On the Definition of the Terms “Energy” and “Work”. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 27 (165), 115-117.

Notices respecting New Books - The Concepts and Theories of Modern Physics (de J. B. Stallo). *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 14 (89), 396-399 (recensão crítica elaborada por Wyndham R. Dunstan).

Notices respecting New Books - The Scientific Papers of James Prescott Joule. *Philosophical Magazine*, 18 (111), 153-155.

Noverre, J. G. (1803) *Lettres sur la danse, sur les ballets et les arts*. St. Pertsbourg: J.C. Schnoor.

Nunes dos Santos (1990). Introdução ao texto de Albert Einstein: *Física e Realidade*.

Ogborn, J. (1989). Energy, change, difference and danger. In G. Marx (Ed.), Proceedings of the international conference on energy alternatives/risk education –energy education.

Oliveira, M.T. (1997). *A Metáfora, a Analogia e a Construção do Conhecimento Científico no Ensino e na Aprendizagem – Uma Abordagem Didáctica*. Tese de doutoramento FCT/UNL.

Ortega y Gasset, J. (1996). *Meditación de Nuestro Tiempo*. Fondo de Cultura Económica.

Ortoli, S. e Witkowski, N. (1996). *La Baignoire d'Archimède*. Seuil, 1996.

Ostwald, W. (1887). De la “substantialité” de l’énergie. *Extrait des annales des Travaux Publics de Belgique*, 47.

Ostwald, W. (1910). *Les fondements énergétiques de la science et de la civilisation*. Paris: V. Giard & E. Brière.

Ostwald, W. (1912). *Les grandes hommes*. Paris: Ernest Flammarion.

Ostwald, W. (1937). *L'Énergie*. Paris: Librairie Félix Alcan. (Traduzido do alemão por E. Philippi. Pelos dados do texto parece-nos ser legítimo inferir que o texto escrito por Ostwald data de 1902).

Pais, A. (1991). Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy and Polity. Oxford: Clarendon Press.

Pappas, E. C. e Garrison, J. W. (1990). Towards a New Philosophy of Education: Extending the Conversational Metaphor of Thinking. *Studies in Philosophy and Education*, 10 (4), 297-314.

Pereira, D.C. (1996). Implicações da Epistemologia da Química na sua História: o caso da 2ª revolução química – Lavoisier – e não só. In Actas do *Seminário sobre Lavoisier*. Évora: Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência.

Perrin, J. (1950). Le Contenu Essentiel des Principes de la Thermodynamique. In *Œuvres Scientifiques de Jean Perrin*, CNRS.

Perrin, J. (1903). *Les Principes*. Paris.

Perrin, J. (1991, 1ª edição 1913). *Les Atomes*. Flammarion.

Pessoa F. (1986). *Obra Poética*. Círculo de Leitores.

Planck, M. (1910). The Unity of the Physical World-Picture. In S. Toulmin (1970), *Physical Reality – Philosophical Essays on Twentieth-Century Physics*. Harper Torchbooks.

Planck, M. (1910). On Mach's Theory of Physical Knowledge: a reply. In S. Toulmin (1970), *Physical Reality – Philosophical Essays on Twentieth-Century Physics*. Harper Torchbooks.

Planck, M. (1921). *Das Prinzip der Erhaltung der Energie*. Vierte Auflage, Verlag von B. G. Teubner, Leipzig, Berlin (Esta é uma edição melhorada do texto original de 1887 apresentado a um concurso).

Planck, M. (1989). *Initiations à la Physique*. Paris: Flammarion. (Traduzido do alemão por J. du Plessis de Grenédan. A primeira edição em francês foi feita em 1941. A 1ª edição em alemão é de 1933, 25 anos depois da primeira conferência realizada em Leyde - 1908).

Planck, M. (1991). *Autobiographie Scientifique. Derniers Écrits*. Flammarion, 1991 (Redigido em alemão em 1945).

Powell, C. (1995). *Turner in Germany*. Tate Gallery Publications.

Preston, S. T. (1880). A Question regarding one of the Physical Premises upon which the Finality of Universal Change is based. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 10 (63), 338-341.

Prigogine, I. e Stengers, I. (1986). *A nova aliança*. Lisboa: Gradiva.

Prigogine, I. e Stengers, I. (1988). *Entre le temps et l'éternité*. Fayard.

Queiroz, E. (1900). *A Correspondência de Fradique Mendes*. Ed. Livros do Brasil.

Rankine, W. J. M. (1853). On the General Law of the Transformation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5, 106-117.

Rankine, W. J. M. (1859). Note to a Letter "On the Conservation of Energy". *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 17 (115), 347-348.

Rankine, W. J. M. (1859). On the Conservation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 17 (114), 250-253.

Rankine, W. J. (1864). On the History of Energetics. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 28, 404.

Rankine, W. J. M. (1872). Actual Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 43 (284), 160.

Rankine, W. J. M. (1881). *Miscellaneous Scientific Papers*. Londres: Charles Griffin and Company.

Riout, D. (1996). *Turner*. Paris: Ed. Cercle de l'Art.

Robinet, A. (ed.) (1957). *Correspondance Leibniz-Clarke*. Paris: Presses Universitaires de France.

Rodwell, G. F. (1862). History of the Dynamical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 24 (161), 327-328.

Riley, B. (1997). Mondrian Perceived. In *Mondrian - Nature to Abstraction*, Tate Gallery Publishing.

Sansot, P. (1996, Fevereiro). Du côté des gens de peu - propos recueillis par Michel Delon. *Magazine Littéraire*, 98-102.

Savenes, E. (1866). O Instituto, 13 (1).

Scecker, H. P. (1992). The Paradigmatic Change in Mechanics: Implications of Historical Processes for Physics Education. *Science & Education*, 1, 71-76.

Schlanger, Judith (1983). *Penser la Bouche Pleine*. Fayard.

Schlanger, Jacques (1994). *Gestes de Philosophes*. Flammarion.

Schlanger, Jacques (1996). *Un Art des Idées*. L'Harmattan.

Seguin (ainé) (1847). Note à l'appui de l'opinion émise par M. Joule, sur l'identité du mouvement et du calorique. *Comptes Rendus*, 25, 420-422.

Serres, M. (1974). *Hermès III - La Traduction*. Ed. de Minuit.

- Serres, M. (1991). *Le Tiers-Instruit*. Paris: Ed. François Bourin.
- Serres, M. (cordenador) (1989). *Éléments d'Histoire des Sciences*. Paris: Bordas.
- Serres, M. (1992). *Eclaircissements – entretiens avec Bruno Latour*. Paris: François Bourin.
- Serres, M. (1995). *Elementos de História das Ciências*. Lisboa: Ed. Terramar.
- Sexl, R. U. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3, 285-288.
- Sheon, A. (1971). French Art and Science in the Mid-Nineteenth Century: Some Points of Contact. *The Art Quarterly*, 34 (4), 434-455.
- Shappin, S. e Shaffer, S. (1993). *Leviathan et la pompe à air*. Paris: Ed. La découverte.
- Smith, C. e Wise, M. N. (1989). *Energy & Empire*. Cambridge University Press.
- Smith, C. W. (1978). A New Chart for British Natural Philosophy: the Development of Energy Physics in the Nineteenth Century. *History of Science*, XVI, 231-279.
- Smith, C. W. (1976). William Thomson and the Creation of Thermodynamics: 1840-1845. *Archive for History of Exact Sciences*, 16 (3), 231-288.
- Smith, C. (1998). *The Science of energy. A cultural history of energy in Victorian Britain*. Londres: The Athlone Press.
- Solomon, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 1, 49-59.
- Solomon, J. (1992). *Getting to Know about Energy*. The Falmer Press.
- Solomon, J. (1994). The Rise and Fall of Constructivism. *Studies in Science Education*, 23, 1-19.

Steffens, H. J. (1979). *James Prescott Joule and the Concept of Energy*. Dawson, Science History Publications.

Stengers, I. (1991). La question de l'auteur dans les sciences modernes. *Littérature*, 82, 3-16.

Stengers, I. (1992). *Le Rôle Possible de l'Histoire des Sciences dans l'Enseignement*. Séminaire sur la Représentation, CIRADE, UQAM.

Stengers, I. (1993). *L'Invention des Sciences Modernes*. Ed. La Découverte.

Stengers, I. (1994). From Describing Falling Bodies to Understanding People: What is Scientific Objectivity?. *Gender-Nature-Culture*, Working Paper, 7, 5-28.

Stengers, I. (1994). Metamorphoses of Science. Feminism and Shifts of Paradigms. *Gender-Nature-Culture*, Working Paper, 7, 29-50.

Stengers, I. (1996). Os Casos Galileu. In *Elementos de História das Ciências*, ed. Terramar, 2º vol.

Stengers, I. (1996). *Cosmopolitiques. La guerre des sciences*. La Découverte/Les Empêcheurs de penser en rond.

Stengers, I. (1996). *Cosmopolitiques. L'invention de la mécanique: pouvoir et raison*. La Découverte/Les Empêcheurs de penser en rond.

Stengers, I. (1997). *Cosmopolitiques. Thermodynamique: la réalité physique en crise*. La Découverte/Les Empêcheurs de penser en rond.

Stengers, I. (1997). *Sciences et Pouvoirs - Faut-il en avoir peur?*. Bruxelles: Labor.

Stewart, B. (1875). *La conservation de l'énergie*. Paris: Librairie Germer Baillière.

Stewart, B. (1874). The Conservation of Energy - being an elementary treatise on energy and its laws. In *The Conservation of Energy and the Principle of Least Action*, ed. Cohen, New York: Arno Press.

Tait, P. G. (1863). On the Conservation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25 (170), 429-431.

Tait, P. G. (1863). On the Conservation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26 (173), 144-145.

Tait, P. G. (1864). On the History of Thermo-dynamics. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 28, 288-292.

Tait, P. G. (1863). Reply to Prof. Tyndall's Remarks on "Energy" in 'Good Words'. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25, 263-266.

Tait, P. G. (1883). On the Laws of Motion. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 16 (102), 439-447.

Theobald, D. W. (1966). *The concept of energy*. Londres: E & F. N. Spon Ltd.

Thomson, W. e Tait, P.G. (1862, Outubro) Energy. *Good Words*, 3, 601-607.

Thomson, W. (1863). Note on Professor Tyndall's "Remarks on the Dynamical Theory of Heat". *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25 (170), 429.

Thomson, W. (1882). The Kinetic Theory of the Dissipation of Energy. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 33 (202), 291-299.

Toulmin, S. (ed.) (1970). *Physical Reality - Philosophical essays on Twentieth-Century Physics*. Harper & Row, Publishers.

Tyndall, J. (1874). Inaugural Address. *Nature*, X (251), 309-319.

Tyndall, J. (1873). *La Matière et la Force*. Paris: Actualités Scientifiques (tradução de M. l'abbé Moigno).

Tyndall, J. (1862). Mayer and the Mechanical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 24 (160), 173-175.

Tyndall, J. (1864). Notes on Scientific History. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 28 (186), 25-51.

Tyndall, J. (1862). On Force. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 24 (158), 57-66.

Tyndall, J. (1863). Remarks on an Article entitled "Energy" in 'Good Words'. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25 (167), 220-224.

Tyndall, J. (1863). Remarks on Professor Tait's last Letter to Sir Brewster. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26 (172), 65-67.

Tyndall, J. (1863). Remarks on the Dynamical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25, 368-387.

Valente, M. O. (1977). *A energia. Suas formas e características*.

Valente, M. (1993). *A pedagogia do conceito de energia – contributo para a utilização formativa do conceito de energia*. Tese de Mestrado. Secção de Ciências da Educação, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa.

Varela, F. (1989). *Connaître. Les sciences cognitives, tendances et perspectives*. Paris: Ed. Du Seuil.

Varela, F. e outros (1993). *L'Inscription Corporelle de l'Esprit - sciences cognitives et expérience humaine*. Paris: Ed. Du Seuil.

Vatin, F. (1993). *Le Travail – Economie et physique 1780-1830*. Paris: PUF.

Verdet, M. (1863). Historic Notice of the Mechanical Theory of Heat. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25 (170), 467-472.

Viennot, L. (1996). *Raisonnement en Physique - la part du sens commun*. De Boeck & Larcier s.a.

Vygotsky, L. S. (1982). *La Imaginación y el Arte en la Infancia*. Madrid: Akal editor.

Warren, J. W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 3, 295-297.

Warren, J. W. (1986). At what stage should energy be taught? *Physics Education*, 21, 154-156.

Witz, A. (1878). Phénomènes Thermiques et Électriques. *Revue des questions scientifiques*, 3, 203-224.

Whitehead, A. N. (1948). *Essays in Science and Philosophy*. Rider and Company.

Whitehead, A. N. (1967). *The Aims of Education and Other Essays*. The Free Press (1ª edição 1929).

Whitehead, A. N. (1993). *Aventures d'Idées*. Ed. du Cerf (1ª edição, em língua inglesa: 1933).

Whitehead, A. N. (1994). *La Science et le Monde Moderne*. Ed. du Rocher (1ª edição, em língua inglesa: 1926).

Whitehead, A. N., *Procès et Réalité*. Ed. Gallimard (1ª edição em língua inglesa: 1929).

Wise, M. N. (1979). William Thomson's Mathematical Route to Energy Conservation: A Case Study of the Role of Mathematics in Concept Formation. *Historical Studies*, 10, p.49-83.

Youmans, E. L. (ed.) (1865). *The Correlation and Conservation of Forces: a series of expositions*. New York: D. Appleton and Company.

Young, TH. (1807). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, London: Printed for Joseph Johnson, St. Paul's Church Yard (2 vol.).

Young, TH. (1829). *Résumé Complet de Mécanique*. Paris: Encyclopédie Portative (sob a direcção de M. C. Bailly de Merlieu; Tradução do Cours de Physique et Arts Mécaniques de 1807).

Zambrano, M. (1993). *A Metáfora do Coração*. Assírio e Alvim.